Svar på oppgaver fra samtlige kapitler

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Svar på oppgaver fra kapittel 1

1) Troposfæren er den nederste delen av atmosfæren der temperaturen faller med høyden. Tropopausen er området over troposfæren der det er liten forandring av temperaturen med høyden. Grenselaget er den delen av troposfæren som blir direkte påvirket av jordoverflaten.

2) Stratosfæren er høydeområdet over tropopausen hvor temperaturen stiger med høyden.

3) Ionosfæren er laget i atmosfæren fra 70 til 400 km over jordoverflaten med frie elektroner og en god del ioner. De ioniserte ledende lagene reflekterer elektromagnetiske bølger.

4) Lufttrykket på et sted i atmosfæren er lik tyngden per areal av ei vertikal luftsøyle over stedet og ut til atmosfærens yttergrense.

5) En sporgass er gass som har en molbrøk mindre enn 1 % i troposfæren.

6) Brenning av fossilt brennstoff bidrar til de tre store miljøproblemene forsterket drivhuseffekt, sur nedbør og bakkenær ozon.

7) Et reservoar er et lager for gasser og partikler. Sluk er et fellesnavn for alle prosesser som fjerner gassmolekyler fra atmosfæren.

8) Levetiden for en gass er den tiden det tar før gassmassen i et reservoar er skiftet ut med ny gass. Omløpshastigheten er gassmassen som strømmer inn eller ut av reservoaret per tid.

9) Oppholdstiden for en gass er gjennomsnittstiden for hvor lenge enkeltmolekyler av gassen oppholder seg i et reservoar. Justeringstiden til en gass er den tiden det tar før gassmassen som blir tilført et reservoar, er redusert til 37 % av den tilførte gassmassen.

10) CO_2 har levetiden 4-5 år og justeringstiden 50-200 år. Denne gassen tas opp av slukene vegetasjon, vannflater og jordsmonn. Etter 4-5 år er gassen byttet ut med ny gass. Imidlertid skjer det en stadig utveksling av CO_2-molekyler mellom disse slukene og atmosfæren. Samtidig som slukene tar opp CO_2-molekyler avgir de andre CO_2-molekyler til atmosfæren, og derfor tar det 50-200 år før en gassmasse tilført atmosfæren er redusert til 37 % av tilført gassmasse.

Svar på oppgaver fra kapittel 2

1) Bølgelengden til en bølge er avstanden mellom to nabotopper. Generelt er bølgelengden den korteste avstanden mellom to punkter på bølgen som er i samme svingetilstand. Svingetiden er tiden som ei hel svingning tar. Frekvensen er antall hele svingninger per tid.

2) En dipol er en nøytral partikkel eller gjenstand med en positivt og en negativt ladd del. En elementærpartikkel er en partikkel som ikke er sammensatt av enda mindre partikler.

3) I sin laveste energitilstand er CO_2-molekylet lineært med C-atomet midt mellom O-atomene. På grunn av termiske bevegelser kan molekylet være bøyd, eller C-atomet kan være forskjøvet mot ett av O-atomene. Molekylet er derfor ganske ofte en dipol.

4) Grunntilstanden er den laveste energitilstanden til et system. Et system er i en eksitert tilstand når det er i en energitilstand med høyere energi enn grunntilstanden.

5) Spredning er en prosess der et foton som treffer en partikkel, forandrer retning uten å utveksle energi med partikkelen.

6) Koherent spredning oppstår når en eksitert partikkel går direkte ned til grunntilstanden, og det blir sendt ut ett foton. Går partikkelen fra en eksitert tilstand ned til grunntilstanden via en eller flere eksiterte tilstander, kalles dette inkoherent spredning. Den eksiterte partikkelen sender da ut to eller flere fotoner.

7) For å få fenomenet absorpsjon må en partikkel kollidere mens den er eksitert.

8) Fotoionisasjon og fotodissosiasjon er to typer fotokjemiske reaksjoner.

9) En drivhusgass består av molekyler som absorberer og emitterer langbølget stråling fra jordoverflaten, atmosfæren og skyene.

10) Elektromagnetisk stråling dannes når ladde partikler eller dipoler er akselerert, eller når en eksitert partikkel går ned til en lavere energitilstand.

11) En svart gjenstand er en gjenstand som absorberer all den elektromagnetiske strålingen som treffer den.

12) Utstrålingstettheten til en gjenstand er utstrålt energi fra gjenstanden per tid og per areal.

13) Planck-kurver eller spektre viser energifordelingen i svart stråling ved forskjellige temperaturer. λ_{topp} er den bølgelengden som gir størst

utstrålingstetthet for en bestemt temperatur.

14) Utstrålingstettheten F fra en gjenstand er proporsjonal med den absolutte temperaturen T i fjerde potens. Proporsjonalitetsfaktoren $\sigma = 5{,}7 \cdot 10^{-8}$ W / m^2 K^4 blir kalt Stefan-Boltzmanns konstant. Matematisk formulering av denne loven er $F = \sigma \cdot T^4$.

15) Emissiviteten til en gjenstand er forholdet mellom utstrålingstetthetene til gjenstanden og en svart gjenstand med samme temperatur.

16) Solspektret ligger lavere ved jordoverflaten enn på toppen av atmosfæren på grunn av spredning og absorpsjon av solstrålingen i atmosfæren. De markerte søkkene i solspektret ved jordoverflaten skyldes sterk absorpsjon og spredning av strålingen fra de gassene som er i atmosfæren.

17) Ca. 43 % av strålingsenergien fra sola på toppen av atmosfæren ligger i det synlige spektret. Om lag 7 % og ca. 49 % av solenergien er bidrag fra henholdsvis kortere og lengre bølgelengder enn synlig lys.

18) UVC dekker bølgelengdeintervallet 200-280 nm, UVB bølgelengdeområdet 280-320 nm og UVA 320-400 nm.

19) Stråling med bølgelengder større enn synlig lys kalles infrarød stråling, varmestråling eller termisk stråling.

20) Bølgelengdeområdet fra ca. 8 til 13 µm i strålingen fra jorda kalles det atmosfæriske vinduet. Det meste av den terrestriske strålingen i dette bølgelengdeintervallet går direkte gjennom atmosfæren og ut til verdensrommet.

Svar på oppgaver fra kapittel 3

1) Stratosfærisk ozon er ozon i stratosfæren, troposfærisk ozon er ozon i troposfæren og bakkenært ozon er ozon i grenselaget

2) En primær gass er en gass som blir sluppet direkte ut i atmosfæren. En sekundær gass er en gass som blir dannet ved kjemiske reaksjoner mellom andre gasser i atmosfæren.

3) Tørravsetning er direkte opptak av gasser og partikler fra atmosfæren på jordsmonn, vegetasjon eller vannflater. Våtavsetning er fjerning av gasser eller partikler fra atmosfæren med nedbør.

4) Et radikal er et atom, molekyl eller ion med minst ett uparet elektron. Det mest reaktive radikalet er hydroksylradikalet (OH). Uten sollys er det viktigste radikalet nitratradikalet (NO_3). Et tredje radikal er hydroperoksiradikalet (HO_2).

5) Disse to reaksjonslikningene viser hvordan OH blir produsert i atmosfæren:



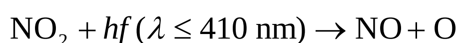
$$O_3^* + hf\,(\lambda < 320\,\mathrm{nm}) \rightarrow O_2 + O^*$$



$$O^* + H_2O \rightarrow 2OH$$

Den største OH-produksjonen foregår over tropene hvor det er mest UV-stråling og høyest innhold av vanndamp.

6) De to reaksjonslikningene som fører fram til ozondannelse i troposfæren, er:



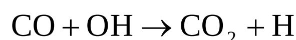
$$NO_2 + hf\,(\lambda \leq 410\ \mathrm{nm}) \rightarrow NO + O$$



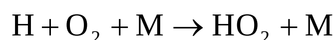
$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$

Sammen med O_2 fra atmosfæren må en eller flere av gassene CO, CH_4 eller NMVOC være til stede for å få dannet store mengder med troposfærisk ozon.

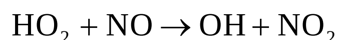
7) Konsentrasjonen av NO må være over 5-10 ppt for at CO skal bidra til nettoproduksjon av troposfærisk ozon.
Likningene:



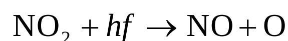
$$CO + OH \rightarrow CO_2 + H$$



$$H + O_2 + M \rightarrow HO_2 + M$$



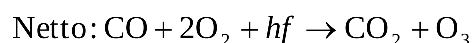
$$HO_2 + NO \rightarrow OH + NO_2$$



$$NO_2 + hf \rightarrow NO + O$$

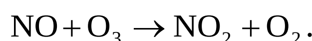


$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$



$$\text{Netto: } CO + 2O_2 + hf \rightarrow CO_2 + O_3$$

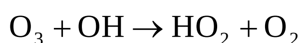
8) Det er flere forhold som fører til at bakkekonsentrasjonen av O_3 ofte er høyest et stykke i vindretningen (medstrøms) fra NO_x-kilden. Den viktigste årsaken til dette er at NO, som utgjør en stor del av NO_x-kilden, bryter ned ozon etter likningen



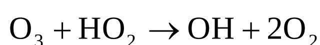
$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 .$$

Ellers tar reaksjonene som fører NO over til NO_2 tid, og det samme gjelder også de andre reaksjonene som fører fram til O_3-dannelse. Dette bidrar også til at O_3-konsentrasjonen ofte er høyest et stykke fra NO_x-kilden.

9)



$$O_3 + OH \rightarrow HO_2 + O_2$$



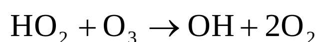
$$O_3 + HO_2 \rightarrow OH + 2O_2$$



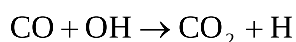
$$\text{Netto}: 2O_3 \rightarrow 3O_2$$

10) Det er konsentrasjonen av NO som avgjør om CO er ozonnedbryter eller ozondanner. Er konsentrasjonen av NO lavere enn 5-10 ppt, er CO ozonnedbryter. I dette tilfellet er det større sjanse for at radikalet HO_2 reagerer med O_3 enn NO.

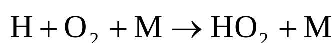
Reaksjonslikningene:



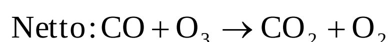
$$HO_2 + O_3 \rightarrow OH + 2O_2$$



$$CO + OH \rightarrow CO_2 + H$$



$$H + O_2 + M \rightarrow HO_2 + M$$



$$\text{Netto}: CO + O_3 \rightarrow CO_2 + O_2$$

11) O_3 kan brytes ned av NO_x etter reaksjonslikningene:



$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 \text{ og } NO_2 + O_3 \rightarrow NO_3 + O_2$$

Ozon kan reagere direkte med hydrokarboner med dobbelt- og trippelbindinger. Den gassen fjernes også fra troposfæren ved tørravsetning.

12) Om lag 90 % av ozonet i troposfæren blir dannet ved kjemiske reaksjoner i denne delen av atmosfæren. Ca. 10 % blir tilført fra stratosfæren. Kjemiske reaksjoner bryter ned omkring 80 %, og resten på om lag 20 % tørravsettes.

13) 1. Bakkenært ozon gir helseskader på mennesker og dyr. Det kan gi irritasjon i slimhinner, betennelsesreaksjoner i luftveier og nedsatt lungefunksjon. Symptomene øker med økende konsentrasjon av ozon. Ozon kan også føre til økt celledeling, og det kan påskynde utviklingen av kreft.

2. Vegetasjonsskader. Ozon gir nåle- og bladskader og redusert fotosyntese. Plantene tar opp ozonet gjennom spalteåpningene, og det dannes skadelige frie

radikaler. Visse tobakksplanter er mest følsomme for gassen, men mange landbruksvekster som poteter, tomater og soyabønner tar også lett skade av gassen. Avlingstapet på grunn av for høye ozonkonsentrasjoner er i flere land anslått til å ligge på omkring 5 %.

3. Materialskader. Ozon skader materialer som gummi, ulike plasttyper, tekstilfibrer og mange malingstyper. Gassen kan bryte ned dobbeltbindinger, og stoffer med slike bindinger er særlig utsatt.

14) Ozonforløperne er NO_x, CO, NMVOC og CH_4. NO_x er viktigst for dannelsen av troposfærisk ozon, og deretter følger NMVOC, CO og CH_4.

15) Termisk NO_x blir dannet ved kjemisk reaksjon mellom nitrogen og oksygen i forbrenningslufta ved høy temperatur. Brennstoff NO_x dannes ved kjemisk reaksjon mellom nitrogenet i brennstoffet og oksygenet i forbrenningslufta.

16) Seks kilder for NO_x er:
1. Jordsmonn under naturlig vegetasjon
2. Lynutladning
3. Fossil forbrenning og industrielle prosesser
4. Jordbruk
5. Brenning av biomasse
6. Atmosfærisk avsetning

17) Mellom 70 og 80 % av de totale NO_x-utslippene er antropogene. Gøteborg-protokollen regulerer gassene NO_x, NMVOC, SO_2 og NH_3. Bakkenær ozon, sur nedbør og overgjødsling er de miljøproblemene som Gøteborg-protokollen tar sikte på å redusere.

18) NO_2 har negativ virkning på lungefunksjonen, og astmatikere er spesielt utsatt. Gassen kan også gi vegetasjonsskader, og særlig er dette tilfelle for noen planteslag når den virker sammen med SO_2 og O_3. Følgene av dette kan være at klorofyllet brytes ned, og at bladfallet skjer tidligere enn normalt.

19) CO dannes i mange tilfeller ved ufullstendig forbrenning av organiske stoffer. Denne gassen øker risikoen for hjerteproblemer hos hjerte-karsyke. Oksygenopptaket blir redusert ved at CO binder seg til hemoglobinet i blodet

20) Seks kilder for CO:
1. Teknologiske
2. Biomassebrenning
3. Vegetasjon
4. Hav
5. Metanoksidasjon
6. NMHC-oksidasjon

21) NMVOC er en forkortelse for non-methane volatile organic compounds, og dette kan oversettes til lettflyktige organiske forbindelser unntatt metan. Den største naturlige kilden globalt er vegetasjonen.

Svar på oppgaver fra kapittel 4

1) Været på et sted er tilstanden i atmosfæren ved et gitt tidspunkt. Klimaet på et sted er gjennomsnittsverdier og variasjoner over lengre tidsperioder av de størrelser om beskriver været.

2) Vind er luft som beveger seg horisontalt i atmosfæren. En luftpakke er en avgrenset luftmengde. I mange fenomener kan en med god tilnærmelse betrakte luftpakken som isolert fra resten av atmosfæren. Oppdriften på en luftpakke er summen av trykkreftene fra lufta på luftpakken.

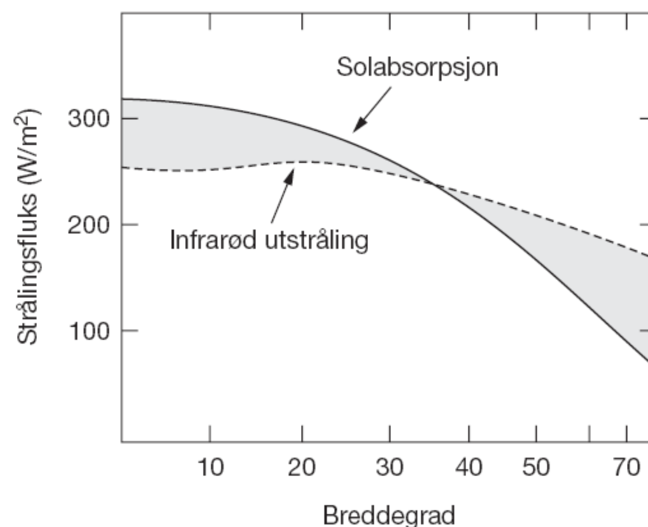
3) Luft som har høyere temperatur enn lufta omkring, stiger. Luft som har lavere temperatur enn lufta omkring, synker.

4) Mettet luft inneholder maksimalt med vanndamp ved en bestemt temperatur. Umettet luft inneholder mindre vanndamp enn mettet luft.

5) Ustabil luft er luft som etter å ha blitt flyttet oppover eller nedover, fortsetter med å bevege seg i samme vertikal retning. Umettet luft er ustabil når temperaturen oppover i atmosfæren synker med mer enn 1 ^{o}C / 100 m. Mettet luft er ustabil når temperaturen oppover i atmosfæren synker med mer enn ca. 0,6 ^{o}C / 100 m.

6) Et lavtrykk er et område hvor lufttrykket er lavere enn i omgivelsene. Et høytrykk er et område hvor lufttrykket er høyere enn i omgivelsene. Over et lavtrykk stiger lufta, og over et høytrykk synker den.

7)

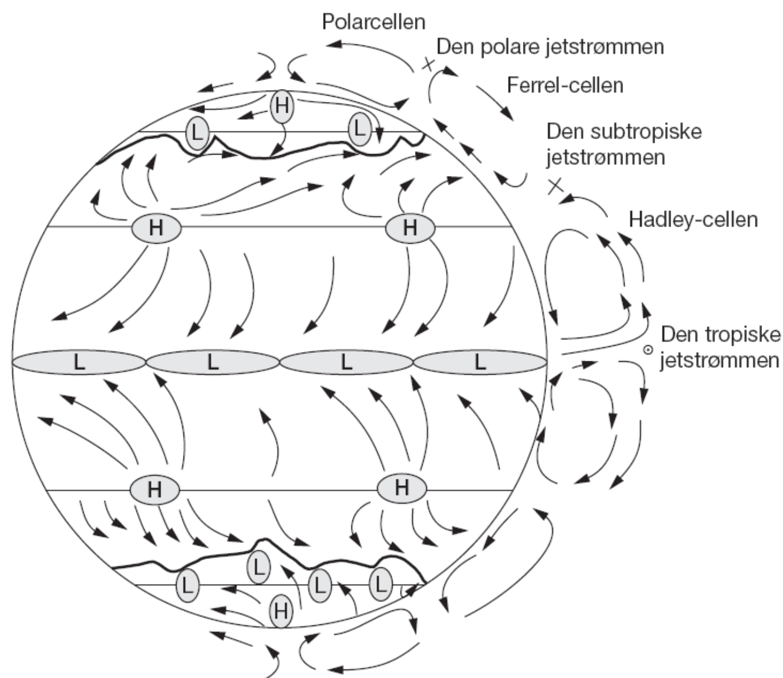


Skissen ovenfor viser strålingsbudsjettet for jorda. Områdene omkring ekvator mottar mye mer solenergi enn områdene ved polene. I tillegg blir denne forskjellen forsterket med mer reflektert sollys på høye breddegrader enn på lave breddgrader. Forskjellen mellom disse breddegradene er mindre når det gjelder

utsendt langbølget stråling, og dette gir derfor et strålingsoverskudd ved lave breddegrader og et strålingsoverskudd ved høye breddegrader. Skillet går ved 38^{o} N og S. Denne ubalansen i strålingsbudsjettet gir en energitransport fra lave til høye breddegrader gjennom atmosfæren og havet. Dette er hoveddrivkraften i klimaet.

8) På nordlig halvkule virker corioliskraften til høyre vinkelrett på fartsretningen, og den virker til venstre vinkelrett på fartsretningen på sørlig halvkule. Rundt et lavtrykk på nordlig halvkule sirkulerer lufta mot urviseren, og rundt et høytrykk sirkulerer lufta med urviseren.

9)



Skissen viser det idealiserte, globale sirkulasjonsmønsteret i atmosfæren. I områdene rundt ekvator er det lavtrykk med stigende luft. Lufta synker ned i områdene nær 30 ^{o}N og 30 ^{o}S med høytrykk. Langs jordoverflaten strømmer lufta fra disse områdene mot ekvator. Denne sirkulasjonen blir kalt Hadley-cellen. Deretter kommer Ferrel-cellen, og lengst nord sirkulerer polarcellen med høytrykk over polene. Mellom disse to cellene ved om lag 60^{o} N og S er det lavtrykk. De polare jetstrømmene sirkulerer over disse områdene fra vest mot øst. I samme retning strømmer de subtropiske jetstrømmene over høytrykksområdene. Den tropiske jetstrømmen går over områdene ved ekvator fra øst mot vest.

10) En klimasone er et område på jorda med omtrent samme klima. Den tropiske sonen, passatsonene, de tempererte sonene og de polare sonene er de fire typene av klimasoner.

11) Overflatelaget eller blandingslaget består av de øverste vannmassene som er godt blandet av vind og temperaturvariasjoner gjennom året. Den termohaline sirkulasjonen er havstrømmer som drives av forskjeller i massetettheter i havet.

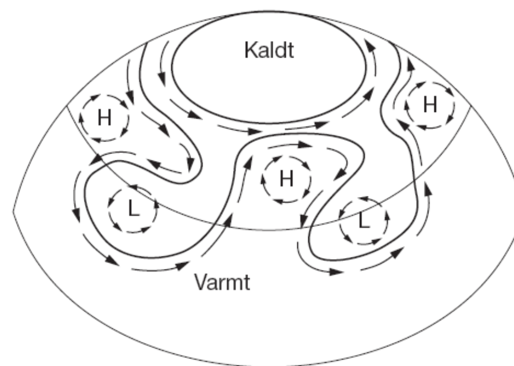
12) Det er forskjeller i saltinnhold og temperaturer som gir ulike massetettheter i havvann. Avkjøling, fordamping, isfrysing og mindre tilførsel av ferskvann øker massetettheten til havvannet. Oppvarming, issmelting og mer nedbør og økt tilførsel av ferskvann fra land reduserer massetettheten til havvannet.

13) Skal Den norske atlanterhavsstrømmen kunne opprettholdes, må det foregå en nedsynking av havvannet i Grønlandshavet. Dette havvannet må ha større massetetthet enn havvannet omkring. Med et varmere klima blir det mer issmelting og økt nedbør over disse havområdene. I tillegg vil det tilføres mer ferskvann fra tilstøtende landområder. Følgene av dette vil være en saltfortynning i dette området. Dette mener noen få forskere vil stoppe denne havstrømmen. Imidlertid viser det seg at denne fortynningen langt på vei blir kompensert av et saltere havvann inn i området som følge av økt fordamping.

Svar på oppgaver fra kapittel 5

1) Meteorologi er vitenskapen om de fysiske og kjemiske prosessene i troposfæren og stratosfæren. En værprognose varsler været på et gitt sted til en gitt tid.

2) Polarfrontflaten er overgangssonen mellom den varme subtropiske lufta og den kalde polarlufta. Polarfronten er polarfrontflaten nær jordoverflaten. Den polare jetstrømmen beveger seg ofte i store svingninger fra vest mot øst på toppen av polarfrontflaten. Etter slike bølgebevegelser kan den polare jetstrømmen rette seg ut og flytte seg rett mot øst. Det dannes etter hvert kalde lavtrykk og varme høytrykk i nærområdet til jetstrømmen, slik som vist i figuren under.



3) Lavtrykkene utvikler seg i en bølgetopp på polarfronten. Rundt denne bølgetoppen blåser kaldlufta på nordsiden og varmlufta på sørsiden. Ei tunge av varmluft trenger inn i området med kaldluft. Den varme lufta har høyere temperatur enn lufta omkring og stiger. Som følge av dette etableres det lavt lufttrykk i området rundt spissen av varmluftstunga. Lufta begynner å sirkulere mot urviseren, og utviklingen av lavtrykket er i gnag.

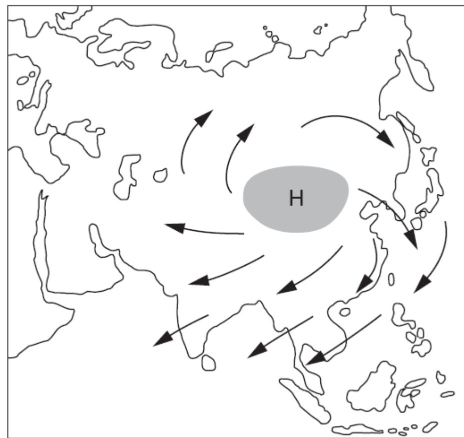
4) Varmfronten er den delen av polarfronten øst for lavtrykket der varm luft trenger fram og skyver kaldlufta tilbake. Denne fronten presses derfor fram i bevegelsesretningen til varmlufta. Kaldfronten er den delen av polarfronten vest for lavtrykket der kald luft langs havoverflaten fortrenger varmlufta.

5) Kaldfronten flytter seg vanligvis raskere enn varmfronten, og dette fører til at kaldfronten etter noen få dager tar igjen varmfronten. Frontene klapper sammen, og dette kalles okklusjon. I områdene med okklusjon har kaldlufta erobret terrenget nærmest jordoverflaten.

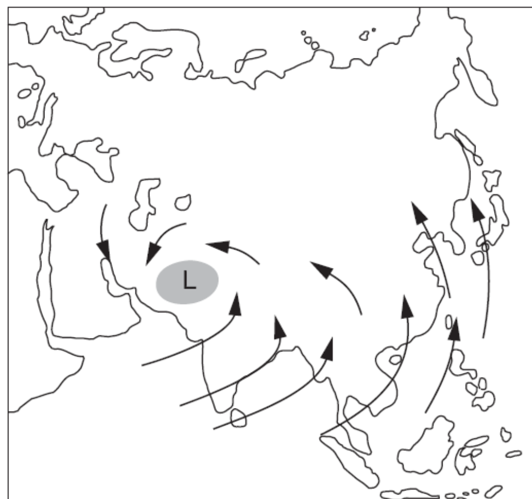
6) Konveksjoner er vertikale strømninger i væsker og gasser på grunn av temperaturforskjeller. I sommerhalvåret varmer sola opp bakken slik at lufta nær bakken blir ustabil. Dette setter i gang vertikale bevegelser, og etter hvert som temperaturen nær bakken stiger, brer konveksjonen seg oppover i troposfæren. Lufta som stiger avkjøles, og den kan etter hvert bli mettet. Det dannes da vanligvis skydråper og haugskyer ofte med helt flat underside.

7) Inversjon er det værfenomenet at temperaturen i atmosfæren stiger med høyden. Dette kan få uheldige konsekvenser i storbyer og industristrøk med store utslipp av forurensninger. Den vertikale utskiftingen av lufta stopper opp, og alle mulige forurensninger samler seg opp i grenselaget.

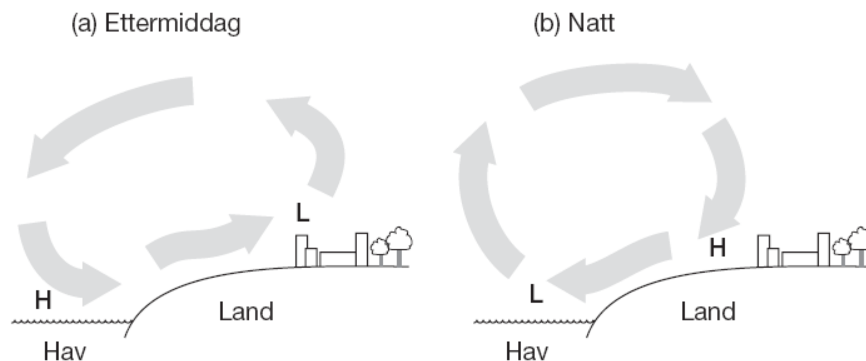
8) Monsuner er storstilte vind- og nedbørsystemer som skifter med årstidene på grunn av temperaturforskjeller mellom land og hav. Over de indre østlige deler av Asia er det kaldt om vinteren. Disse områdene får mye lavere temperatur enn havområdene omkring. Havområdene avkjøles mye senere på grunn av den høye varmekapasiteten til disse enorme vannmengdene. Dette fører til nedsynking av kald luft over de indre østlige landområdene i Asia, og det dannes et kraftig høytrykk over disse landområdene, slik som vist i figuren under. Over store deler av det sørlige Asia strømmer det kald og tørr nordøstlig vind, som kalles vintermonsunen eller nordøstmonsunen.



Om sommeren blir de store landområdene i det sørlige Asia raskere oppvarmet enn havvannet. I nærområdene til India blir lufta ustabil, og det dannes et kraftig lavtrykk, slik som vist i neste figur. Lavtrykket fører fuktig og varm havluft inn over det sørlige Asia. Luftstrømmen sammen med nedbøren kalles sommermonsunen eller sørvestmonsunen.

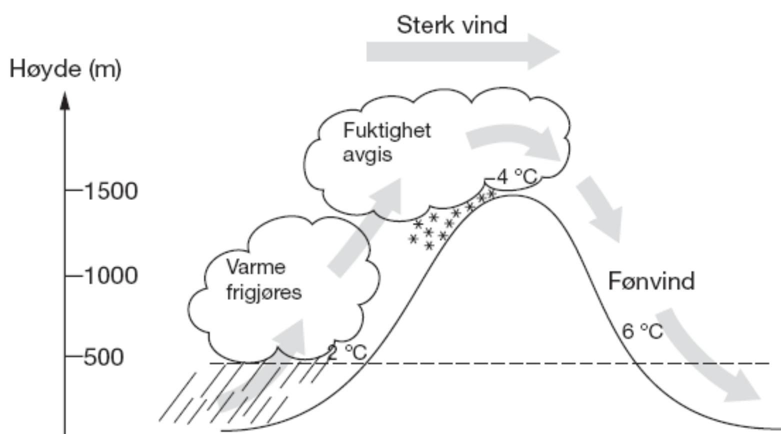


9) Land- og sjøvind er monsunvind i liten skala over et døgn.
Om dagen varmes landområdene raskere opp enn havoverflaten. Utover ettermiddagen blir lufta over land ustabil, og det dannes svake lavtrykk. Dette fører til at kaldere havluft trekkes inn over land, og denne luftstrømmen er sjøvind. Denne luftstrømmen blir kompensert av en returstrøm i motsatt retning i høyere luftlag, slik som vist i figur a) under.



Om natta avkjøles landområdene raskere enn havoverflaten, og varmere luft over havet blir ustabil og stiger. Det dannes lavtrykk over havet, og dette drar kaldere luft fra land ut over havoverflaten. Denne luftstrømmen kalles landvind. Også i dette tilfellet blir det en returstrøm i høyere luftlag, slik som vist i figur b).

10) Når en kraftig, fuktig luftstrøm passerer en fjellkjede på tvers, kan det oppstå fønvind på lesiden. Tvinges tilstrekkelig fuktig luft opp langs en fjellside, avkjøles den og blir mettet. Etter at vanndampen kondenseres, og det frigjøres kondensasjonsvarme, avkjøles lufta med 0,6 ^{o}C / 100 m videre oppover fjellsiden. På vei opp mot toppen faller mye av vannet ut som nedbør, og like over fjelltoppen er vanligvis lufta umettet. På vei nedover lesiden varmes lufta opp med 1 ^{o}C / 100 m. Hvordan lufta avkjøles og varmes opp over fjellkjeden er vist i figuren under. Lufta oppvarmes mer enn den avkjøles, og totalt får derfor lufta høyre temperatur på samme nivå på lesiden enn på losiden.



For det tilfellet at lufta er mettet helt til topps og umettet på lesiden, blir oppvarmingen 1 ^{o}C / 100 m · 1000 m – 0,6 ^{o}C / 100 m · 1000 m = 4 ^{o}C.

11) Nedbør er vann i flytende eller fast form som faller fra skyer ned på jorda.
De tre typene av nedbør er: orografisk nedbør, frontnedbør og konvektiv nedbør.
Mikroklimaet er klimaet i små områder like over eller på små flater.

Svar på oppgaver fra kapittel 6

1) De fem delene er: atmosfæren, hydrosfæren, kryosfæren, geosfæren og biosfæren. Atmosfæren er laget av gasser som omgir jorda og som holdes på plass av gravitasjonskrefter. Hydrosfæren er alt vann på og under jordas overflate i fast, flytende og gassform. Kryosfæren er den delen av jordoverflaten der vann finnes i fast fase, enten i form av isbreer, snø, tele, permafrost eller is på vann. Geosfæren eller litosfæren er jordskorpa og det øvre laget av mantelen. Biosfæren er området over og under jordoverflaten der det finnes liv.

2) Paleoklimatologi er studiet av tidligere tiders klima. En isalder er en periode hvor det forekommer is på jorda. En istid er en kald periode der store deler av jorda har vært dekket med is. Mellomistider er tiden mellom to istider.

3) Klimavariasjoner over mange millioner år kan skyldes kontinentaldrift, havbunnspredning, polvandringer og erosjon. Albedo er forholdet mellom reflektert og innkommende solstråling mot en flate.

4) De fem viktigste årsakene til klimavariasjoner de siste 500 000 årene er:
   1. variasjon i innstrålingen fra sola på grunn av astronomiske forhold
   2. variasjon iden globale albedoen
   3. variasjon i gassinnholdet i atmosfæren
   4. variasjon i utstrålingen fra sola
   5. vekselvirkninger i klimasystemet

5) Det er tre variasjoner som har betydning for istider.
   1. Variasjon i jordbanens form er den viktigste. Jordbanen veksler mellom to ellipseformer. Den ene er nesten sirkelrund, og den andre er en litt flatklemt ellipse. Variasjonene har to perioder på henholdsvis 100 000 år og 400 000 år.
   2. Variasjoner i jordaksens helningsvinkel. Helningsvinkelen er vinkelen mellom en normal på jordbaneplanet og jordaksen. Denne vinkelen varierer mellom ytterverdiene $22{,}05^o$ og $24{,}50^o$ med en periode på 41 000 år.
   3. Presesjon. I tillegg til variasjoner i helningsvinkel forandrer også jordaksen retning i verdensrommet. Bevegelsen kan sammenliknes med bevegelsen til en snurrebass i sluttfasen. Periodene er på 23 000 år og 19 000 år.

6) Perihelion er det punktet i jordbanen som ligger nærmest sola. Aphelion er punktet i jordbanen som ligger lengst vekk fra sola. Når jorda er i aphelion ved sommersolverv, vender NH mot sola i en posisjon lengst vekk fra jorda. Dette gir kjølige somre og milde vintre på NH. På SH er det motsatt med varme somre og kalde vintre.

7) Den vanligste oksygenisotopen er ^{16}O, og den utgjør 99,8 % av alt oksygen. Isotopen ^{18}O har to nøytroner mer enn ^{16}O, og vannmolekyler med denne isotopen har litt større masse enn vannmolekyler med den vanligste isotopen.

Ved samme temperatur har derfor de vanligste vannmolekylene litt større fart enn molekylene med ^{18}O. Vannmolekylene med minst masse fordamper lettest, og vanndampen som stiger opp fra havet, er anriket på ^{16}O. Dette er også tilfelle med vannet i de skyene og den nedbøren som blir ført inn over land. I kalde perioder er derfor isen på land og havet anriket på henholdsvis ^{16}O og ^{18}O. Foraminiferene tar opp oksygenet til skallene fra havvannet, og sammenhengen mellom ^{18}O / ^{16}O i skallene og havvannet er kjent. Høye verdier av ^{18}O / ^{16}O i kalkskallene svarer derfor til stor isutbredelse på jorda.

8) Disse tre forutsetningene må antakelig være til stede for å få hyppige vekslinger mellom istider og mellomistider:
1. Klimaet på jorda må være kaldt nok til at det kan dannes isbreer.
2. Det må være fjell på midlere breddegrader.
3. Klimasystemet må være følsomt for ytre påvirkning, og det må finnes forsterkningsmekanismer som utløses ved ytre påvirkning.

9) Aerosoler er svevende, faste eller flytende småpartikler i atmosfæren.
Solarkonstanten er gjennomsnittlig mottatt stålingsfluks fra sola gjennom en flate normalt på stråleretningen på toppen av atmosfæren i løpet av et år.
Den globale albedoen er all reflektert solstråling fra atmosfæren og jordoverflaten dividert på all innkommende solstråling.

10) I atmosfæren er det skyer, aerosoler og gassmolekyler som gir reflektert solstråling til verdensrommet.
Under kraftige vulkanutbrudd sendes det ut store mengder med SO_2 høyt opp i atmosfæren. På vei oppover omdannes en god del av gassen til aerosoler, og disse kommer helt opp i stratosfæren. Aerosolene har en oppholdstid på ca. tre år i stratosfæren, og dette fører til økt albedo og avkjøling ved jordoverflaten.

11) Tambora i Indonesia i 1815. Mount Agung på Bali i 1963. El Cichon i Mexico i 1982 og Pinatubo på Filippinene i 1991.

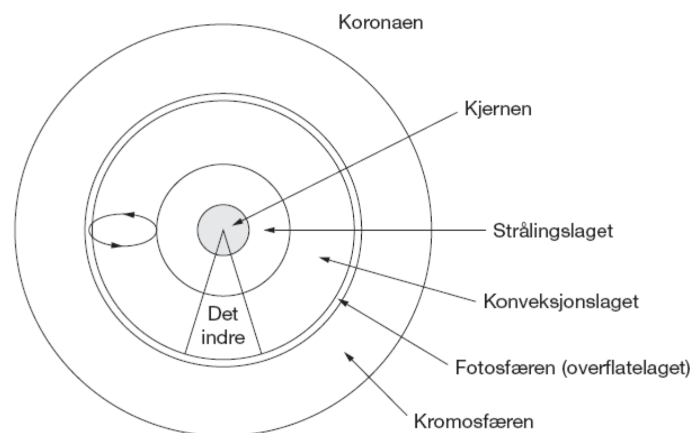
12) De forskjellige bidragene til den globale albedoen er:
Refleksjon fra skyer ca. 20 %.
Spredning fra atmosfæren ca. 6 %.
Refleksjon fra jordoverflaten ca. 5 %.

13) Snøen legger seg hvert år oppå isbreene. Mellom snøkornene i snøen og atmosfæren er det til stadighet utveksling av luft. På denne måten har de forskjellige gassene den samme konsentrasjonen i snøen som i atmosfæren. Snølaget blir etter hvert tykkere, og den nederste delen av laget omdannes gradvis til is. Samtidig blir lufta fanget inne og samlet i små luftbobler i den lufttette isen. En får derfor kunnskap om hvordan gassinnholdet i atmosfæren var tidligere ved å måle konsentrasjonen til de ulike gassene i luftboblene. Is som dannes om sommeren, har en annen struktur enn is dannet om vinteren, og alderen kan derfor bestemmes ved å telle islag tilsvarende som en teller årringer i en tømmerstokk.

14) CO_2
Havvannet holder bedre på CO_2-gassen i perioder med lave temperaturer, og det går en nettotransport av gassen fra atmosfæren og ned i havet ved fallende havtemperatur. Med økende havtemperatur går nettotransporten motsatt vei. Dette er trolig den viktigste årsaken til samvariasjonen mellom temperaturen og CO_2-innholdet. Med lavere temperatur nedsettes nedbrytingen av organisk materiale, og dette medfører reduserte utslipp av gassen til atmosfæren. Ved fallende temperatur lagres det også mer CO_2-gass i permafrost. Øker temperaturen, gir dette økte utslipp av gassen.

CH_4
Med synkende temperatur går produksjonen av metan i våtmarker ned, og gassen lagres i større områder med permafrost og i bunnen under islagte innsjøer. I perioder med økende temperatur avgis det mer metan fra våtmarker, og permafrost og innsjøer er kilder for gassen.

15)



Sola består av de tre hovedområdene: det indre, overflatelaget og solatmosfæren. Det indre av sola omfatter kjerne, strålingslag og konveksjonslag. Overflatelaget eller fotosfæren ligger over konveksjonslaget. Solatmosfæren inneholder kromosfæren over fotosfæren og koronaen øverst.

16) Solflekker er områder på soloverflaten med lavere temperatur enn omgivelsene, og med intens magnetisk aktivitet. En solflekksyklus er perioden til variasjonen i antall solflekker. Antall solflekker varierer fra et minimum til maksimum og tilbake til et minimum. Gjennomsnittsverdien for lengdene av solflekksykluser er ca. 11 år. Sola stråler ut mest energi ved solflekkmaksimum. Med lavere temperatur enn omgivelsene er utrålingen fra selve solflekkene mindre enn ellers i fotosfæren. Imidlertid er utstrålingen fra områdene omkring som kalles fakler eller facula, spesielt stor. Denne utstrålingen mer enn oppveier den reduserte utstrålingen fra solflekkene.

17) Maunder minimum var perioden fra omkring 1645 til 1715. I denne perioden ble dat bare registret et svært lite antall solflekker. Kosmisk stråling er stråling som kommer fra verdensrommet. Solvinden reduserer den kosmiske strålingen inn mot jorda. Solvinden er ofte sterkest ved solflekkmaksimum, og den kosmiske strålinga er da svakere enn ved solflekkminimum.

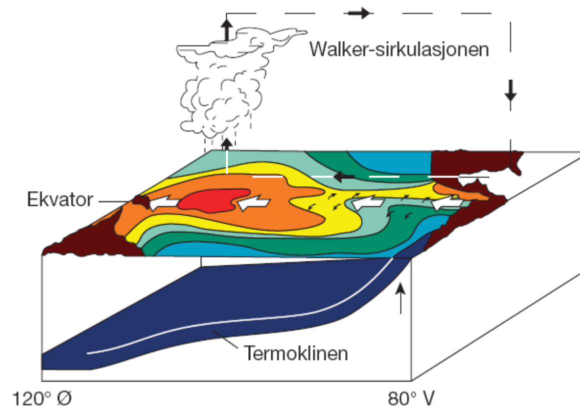
18) Isotopene ^{14}C og ^{10}Be kan dannes når noen atomkjerner i atmosfæren blir truffet av kosmisk stråling. Jo kraftigere kosmisk stråling, desto større mengder av disse isotopene produseres. Mengdene av ^{14}C og ^{10}Be kan måles i henholdsvis årringer og iskjerner. Perioder med mindre mengder av disse isotopene har da hatt kraftig solvind og høy solutstråling. Det gjenstår imidlertid mer forskning før disse sammenhengene er tilfredsstillende kartlagt.

19) Skyhypotesen til Svensmark og Friis-Christensen går ut på at høy solaktivitet fører til redusert lavt skydekke. Kraftig solvind reduserer den kosmiske strålingen inn mot jorda. De danske forskerne hevder at den kosmiske strålingen setter i gang prosesser som danner kondensasjonskjerner for vanndamp, slik at det dannes skydråper. Videre påstår de at dette vil føre til dannelse av lave skyer. Lave skyer virker avkjølende på jordoverflaten. Deres skyhypotese kan oppsummeres på denne måten: høy solaktivitet → sterk solvind → svak kosmisk stråling → lavt antall kondensasjonskjerner → lavt antall skydråper → redusert lavt skydekke → høy global temperatur.

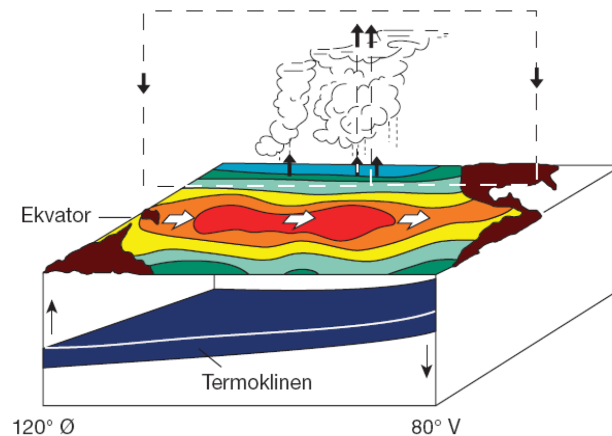
20) NAO er en forkortelse for den nordatlantiske oscillasjonen. NAO-indeksen er knyttet til differansen mellom lufttrykket ved Azorene eller i Portugal og på Island.

21) ENSO står for El Niño og den sørlige oscillasjonen. Termoklinen eller sprangsjiktet er en overgangssone mellom varmt overflatevann og kaldere og tyngre bunnvann.

22) ENSO skyldes en storstilt vekselvirkning mellom hav og atmosfære over de ekvatoriale områdene av Stillehavet. Passatvindene blåser på begge sider av ekvator fra øst mot vest. Vindene får virke over stor havområder, og de drar med seg store mengder med havvann fra kysten av Sør-Amerika til vestlige deler av Stillehavet. Dette gir oppstrømming av kaldt, næringsrikt havvann ved Sør-Amerika med dannelse av høytrykk over disse områdene. På vei vestover varmes havvannet opp av solstrålingen, og over de vestlige deler av Stillehavet dannes det lavtrykk. Dannelsen av høytrykket og lavtrykket forsterker passatvindene. Denne fasen i ENSO er vist i den øverste figuren under. De østlige vindene langs



ekvator opprettholder et høyere havnivå i vest enn i øst. Dette er den mest vanlige situasjonen i disse havområdene.
Etter en tid vil imidlertid overflatetemperaturen i lavtrykksområdet begynne å synke, og dette svekker de østlige vindene. Vindene blir etter hvert ikke kraftige nok til å opprettholde den skrå havoverflaten, og tyngden får overtak. Dette medfører at havstrømmen snur og får motsatt retning av tidligere. Varmt havvann strømmer mot Sør-Amerika, lavtrykket flytter seg mot øst og termoklinen hever seg. Dette er starten på en El Niño-episode, som er vist i figuren under.



23) Istider kan starte med så kalde somre på NH at ikke all snøen som kom om vinteren, smeltet neste sommer. Snøen reflekterte mer solstråling enn bar bakke, og dette virket avkjølende. Dette økte utbredelsen av snø og is de påfølgende årene, og etter hvert førte dette til dannelsen av en varig isbre. Utbredelsen av isbreer medførte over lang tid til lavere temperatur, og dette påvirket andre prosesser som forsterket utviklingen. Viktigst i denne sammenheng er ganske sikkert reduksjonen av konsentrasjonen til drivhusgassene vanndamp, CO_2 og CH_4.

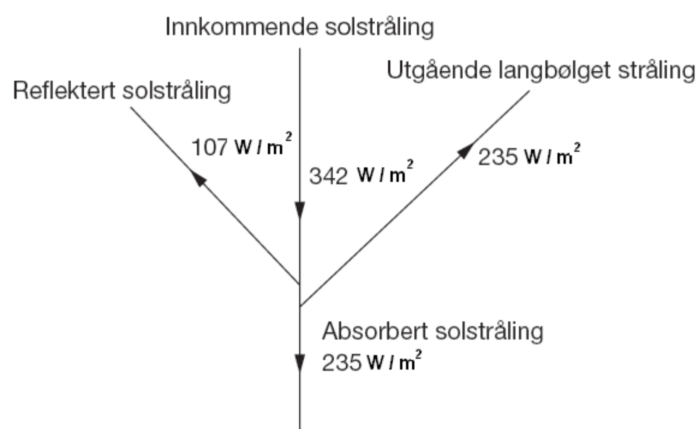
24) Den lille istiden varte i perioden ca. 1400 til 1900 e. Kr. I den lille istiden var solflekkaktiviteten i perioder spesielt lav, og det har også vært høy hyppighet av kraftige vulkaner. Dette er med stor grad av sannsynlighet grunnen til denne kalde perioden. Resultater fra modellkjøringer med indirekte data for solutstråling og vulkansk aktivitet underbygger dette.

Svar på oppgaver fra kapittel 7

1) Likevektstemperaturen til jorda er den konstante temperaturen som den globale gjennomsnittstemperaturen stabiliserer seg på, lenge etter at innholdet til samtlige drivhusgasser sluttet å endre seg.
Selv etter at konsentrasjonen til samtlige drivhusgasser er stabilisert, vil den globale gjennomsnittstemperaturen fortsette å stige. Grunnen til dette er at jordoverflaten mottar mer energi enn den sender ut. Så lenge dette er tilfelle, vil temperaturen på jordoverflaten øke for å oppnå energibalanse. Ved at temperaturen øker sender jordoverflaten ut mer stråling og energi. Dette tar imidlertid lang tid da det er stor treghet i klimasystemet, og dette skyldes spesielt de store mengdene med havvann.

2) Det er bare den ene halvdelen av jorda og atmosfæren som vender mot sola og blir belyst. Snittflaten mellom to like jordhalvkuler er en sirkelflate. Kunne en slik sirkelflate belyses, ville den og en jordhalvkule motta samme strålingsfluks. Da kuleflaten har fire ganger større flate enn en slik sirkelflate, må solarkonstanten divideres med fire for å få fordelt strålingsfluksen fra sola på hele toppen av atmosfæren.

3) Av den innkommende solstrålingen på 342 W / m^2 blir 107 W / m^2 reflektert og 235 W / m^2 absorbert. Ved energibalanse må det sendes ut langbølget stråling på 235 W / m^2, slik som vist i figuren under.



4) Den forsterkede drivhuseffekten skyldes at vi mennesker har økt innholdet av drivhusgasser i atmosfæren over de naturlige konsentrasjoner. Dette har i hovedsak skjedd i den industrielle perioden etter ca.1750. Om lag halvparten av solstrålingen på vei mot jorda treffer jordoverflaten og varmer opp denne. Jorda sender ut langbølget stråling, og mer av denne strålingen blir absorbert av den økte mengden av drivhusgasser. Drivhusgassene og skyene i troposfæren med en lavere temperatur enn jordoverflaten sender ut stråling i alle retninger, og mindre stråling går ut til verdensrommet. Jo større temperaturforskjell det er mellom jordoverflaten og de absorberende drivhusgassene, desto mindre stråling forlater toppen av atmosfæren. På denne måten mottar jordoverflaten mer stråling og

energi, og dette vil føre til temperaturøkning på jordoverflaten og i troposfæren. Denne temperaturøkningen vil igjen forsterke, dempe eller sette i gang prosesser. Disse prosessene kalles tilbakekoplinger, og de kan forsterke eller dempe temperaturøkningen. De fleste vil forsterke temperaturøkningen. De viktigste drivhusgassene i den forsterkede drivhuseffekten er CO_2, CH_4, O_3 og N_2O. Økningen av vanndampinnholdet blir behandlet som en tilbakekobling.

5) Momentant strålingspådriv er endringen i netto global strålingsfluks ved tropopausen før temperaturen har forandret seg i stratosfæren.
Justert strålingspådriv er netto endring av den globale strålingsfluksen etter at temperaturen på nytt er stabilisert i stratosfæren.
Klimafølsomheten er den globale likevektstemperaturen etter en dobling av CO_2-innholdet i atmosfæren i forhold til 1750. Resultater av beregninger med forskjellige klimamodeller gir sannsynlige likevektstemperaturer i området 2,0-4,5 ^oC.

6) En positiv tilbakekopling er en prosess som forsterker temperaturøkningen, som følge av et positivt strålingspådriv. En negativ tilbakekopling er en prosess som reduserer temperaturøkningen bestemt av et positivt strålingspådriv.
1 *Vanndamp*
Med økende temperatur i atmosfæren vil innholdet av vanndamp stige, og da vanndamp er en drivhusgass, er dette en positiv tilbakekopling.
2 *Vertikal temperaturfordeling i atmosfæren*
I forhold til dagens situasjon viser de fleste klimamodellene et redusert temperaturfall oppover i troposfæren. Dette er en negativ tilbakekopling.
3 *Jordoverflatens albedo*
Høyere temperatur reduserer arealene med snø og is, og dette gir redusert albedo. Prosessen forsterker temperaturøkningen, og dette er derfor en positiv tilbakekopling.
4 *Skyer*
Med økende temperatur vil høyden til skytoppen, globalt skydekke og tettheten av skydråper i skyer endres. Det er stor usikkerhet om denne tilbakekoplingen, men de fleste modellkjøringene gir en positiv tilbakekopling.

7) Globalt skydekke er den brøkdelen av jordkloden som er dekket med skyer. Det globale skydekket er på ca. 60 %. Den globale avkjølende og oppvarmende effekten av skyene er på om lag 45-50 W / m^2 og 30-35 W / m^2.

8) Tidshorisonten er tiden fra utslippet skjer og til et valgt senere tidspunkt. Globalt oppvarmingspotensial (GWP) for en drivhusgass er forholdet mellom de samlede strålingspådrivene fra drivhusgassen og en referansegass med samme masse over en bestemt tidshorisont.
Dette er 30·100 kg CO_2-ekvivalenter = 3 000 kg CO_2-ekvivalenter.

9) 1. Gasser som bare har direkte GWP.
2. Gasser som har ingen eller ubetydelig direkte GWP, men som har indirekte

GWP. De påvirker drivhuseffekten ved kjemiske og fysiske prosesser i atmosfæren

3. Gasser som har både direkte og indirekte GWP.

Svar på oppgaver fra kapittel 8.

1) De antropogene CO_2-utslippene er i overkant av 4 % av de totale utslippene av denne gassen.
   CO_2 blir ikke brutt ned i atmosfæren ved kjemiske reaksjoner. Gassen blir tatt opp av havet, vegetasjonen og jordsmonnet. Men disse slukene gir også fra seg CO_2 til atmosfæren. Før vi menneske startet med å sende ut denne gassen, var det en hårfin balanse mellom opptak og utsending av CO_2 mellom atmosfæren, havet, vegetasjonen og jordsmonnet. I flere tusen år var innholdet av denne gassen i atmosfæren omtrent konstant. Etter at vi mennesker begynte med å tilføre ekstra CO_2 til atmosfæren, har ikke naturen hatt evne til å ta opp all gassen. Noe av denne har blitt igjen i atmosfæren. Problemstillingen kan sammenliknes med et kar med avløp som blir tilført vann. Renner det like mye vann inn i som ut av karet, vil vannivået i karet holde seg konstant. Er det imidlertid en liten økning i vanntilførselen, vil vannivået stige på same måte som CO_2-innholdet nå stiger i atmosfæren.

2) 1. Økningen av CO_2-innholdet i atmosfæren på ca. 36 % i forhold til førindustrielt nivå er mye større enn naturlige svingninger over samme tidsrom.
   2. Måleresultatene av CO_2-innholdet viser at økningen av gassinnholdet har utviklet seg parallelt med økningen i de antropogene CO_2-utslippene. Fra 1957 har CO_2-utslippene med sikkerhet vært større enn CO_2-økningen i atmosfæren. CO_2-økningen er litt større på NH enn SH, noe som passer godt med at de største utslippene er på NH.
   3. Det relative innholdet av ^{14}C i CO_2-gassen har gått ned, og dette er i overensstemmelse med at CO_2-utslippene fra fossil brenning ikke inneholder denne isotopen.

3) Kildene for de antropogene CO_2-utslippene er fossil brenning, sementproduksjon og endring av landområder. Avskoging dominerer når det gjelder endring av landområder. Slukene er havet og landområder. Om lag 2/3 av de totale antropogene CO_2-utslippene etter 1750 kommer fra fossil brenning. Omkring 45 % av de totale antropogene CO_2-utslippene etter 1750 er fortsatt i atmosfæren.

4) Fordelen med bilkatalysatoren er at den reduserer utslippene av NO_x, CO og hydrokarboner (HC).
   Imidlertid er noen ulemper med denne katalysatoren.
   1. Utslippene av CO_2 øker.
   2. Økning av N_2O-utslippene.
   3. Utslippene av ammoniakk (NH_3) øker.
   4. Bilkatalysatoren kan bli ødelagt av bly, sink og fosfor i bensinen.
   5. Eksosen kan lukte vondt av H_2S.
   6. Noe platina kan løsrives fra katalysatoren. Muligens har platina helseskadelige effekter.

5) CO_2-håndtering omfatter utskilling, deretter transport og til slutt lagring.

1 Eksosrensing.
CO_2-gassen i eksosen vaskes ut med en CO_2-absorberende væske med lav temperatur som inneholder forskjellige aminer. Deretter varmes aminet opp, slik at gassen avgis.
2 Fjerning av CO_2 før forbrenning
Ved en kjemisk reaksjon reagerer metan og vanndamp til hydrogen og CO_2. CO_2 kan deretter skilles fra hydrogen med samme metode som ved eksosrensing. Hydrogen kan da brukes som energikilde, og ved brenning dannes det hovedsakelig vann
3 Forbrenning ved bruk av ren oksygen
Ved bruk av tilstrekkelig mengde ren oksygen dannes det bare vanndamp og CO_2. Vanndampen og CO_2 kan deretter skilles ved avkjøling.

6) De fire største norske utslippene i 2005:
1.Olje- og gassutvinning 31 %
2.Veitrafikk 22 %
3.Industriprosesser 17 %
4.Stasjonær forbrenning på land 15 %

7) Metan blir dannet ved nedbryting eller brenning av organisk materiale med for liten tilgang på oksygen.
Det viktigste sluket for metan er reaksjon med hydroksylradikalet i troposfæren etter reaksjonen $CH_4 + OH \rightarrow CH_3 + H_2O$. I mindre omfang skjer også denne reaksjonen i stratosfæren, og i tillegg reagerer der metan med Cl og O^*. Det tredje sluket er opptak i jordsmonnet.

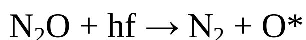
8) Våtmarksområder er den største naturlige metankilden.
Seks globale antropogene metanutslipp:
1 Aktiviteter knyttet til fossile stoffer
2 Husdyr som er drøvtyggere
3 Rismarker
4 Avfall
5 Husdyrgjødsel
6 Kloakk
De antropogene utslippene utgjør 60 % av de totale globale utslippene.

9) Metan har levetiden 8,5 år og justeringstiden 12 år. Gassen har GWP-verdien 25. CH_4 har både direkte GWP-verdi og positiv indirekte GWP-verdi, mens CO_2 bare har direkte GWP-verdi. Metan har også større direkte GWP-verdi enn CO_2, og dette skyldes at denne gassen har mindre molekylmasse, lavere konsentrasjon og større drivhuseffekt per molekyl enn CO_2. Metan har mye kortere justeringstid enn CO_2, og dette bidrar til å redusere denne verdien. Ved nedbrytingen av metan dannes det troposfærisk ozon og vanndamp i stratosfæren, og det er disse drivhusgassene som gir bidraget til den positive indirekte GWP-verdien.

10) De norske utslippene av metan har økt med om lag 60 % i perioden 1950-2006.

Landbruk, avfallsdeponi og andre prosesser er kilder for metangass i Norge.

11) Lystgass blir dannet ved nedbryting av nitrogenholdige stoffer med lite eller ingen oksygentilgang. Det meste av lystgassen blir brutt ned i stratosfæren av UV-stråling. Omkring 90 % av gassen blir spaltet av UV-strålingen i bølgelengdeområdet 180-230 nm ved reaksjonene:



$$N_2O + hf \rightarrow N_2 + O^*$$



$$N_2O + O^* \rightarrow 2NO$$

De resterende 10 % av gassen blir brutt ned av O* dannet fra andre reaksjoner enn fotodissosiasjonen ovenfor.

12) Om lag 40 % av de totale lystgassutslippene er antropogene.
Fire antropogene kilder for lystgass:
1 Fossil brenning og industri
2 Landbruk
3 Biomassebrenning
4 Ekskrementer fra mennesker

13) De norske lystgassutslippene har økt med over 100 % i perioden 1950-2006.
Tre norske antropogene kilder for lystgass:
1 Landbruk
2 Kjemisk produksjon, mineralgjødsel
3 Veitrafikk, avgasser fra bilkatalysatorer

14) Halokarboner er karbonforbindelser som inneholder halogenene fluor, klor, brom eller jod. KFK-gassene og halonene er to viktige grupper av halokarboner. KFK-gassene er ikke brennbare, ikke giftige, billige å produsere, lette å lagre og kjemisk stabile.

15) Det er tre årsaker til at et svekket ozonlag reduserer den global gjennomsnitts-temperaturen.
1. Et svekket ozonlag slipper gjennom mer UV-stråling til troposfæren og jordoverflaten. Dette har en oppvarmende virkning.
2. Lavere ozonkonsentrasjon i stratosfæren fører til at mer langbølget stråling passerer tropopausen og går ut til verdensrommet. Den naturlige drivhuseffekten er blitt redusert, og dette virker avkjølende.
3. Et svekket ozonlag har lavere temperatur enn normalt, og følgene av dette er at stratosfæren sender mindre langbølget stråling gjennom tropopausen og ned mot jordoverflaten. Virkningen av dette er avkjøling.
Alle disse tre faktorene gir altså totalt reduksjon i global gjennomsnittstemperatur.

16) Erstatningsstoffene til KFK har ett eller flere hydrogenatomer. Fordelen med dette er at de kan brytes ned av hydroksylradikalet (OH). Likevel viser det seg at en liten del når opp til ozonlaget. Gruppen erstatningsstoffer som skader ozonlaget heter hydroklorfluorkarboner (HKFK), og den uten skadelig påvirkning kalles hydrofluorkarboner (HFK). HKFK bryter ned litt ozon i stratosfæren da disse gassene inneholder klor og noen molekyler kommer helt opp til ozonlaget.

17) Svovelheksafluorid (SF_6), karbontetrafluorid (CF_4) og dikarbonheksafluorid (C_2F_6) er tre fullfluoriserte gasser. PFK er en forkortelse for perfluorkarbon. PFK-gasser er svært stabile og transporteres til høyder over stratosfæren før de brytes ned. Det tar flere tusen år før gassene kommer så høyt at UV-strålingen blir kraftig nok til å fjerne gassene fra atmosfæren.

18) Produksjon av magnesium og aluminium er to kilder for SF_6 og PFK. SF_6 er en helt spesiell god isolator og flammehemmer. Gassen brukes i elektrisk utstyr med høye spenninger, og den gjør det mulig å lage kompakte og trygge høyspenningsanlegg.

19) Det er de store variasjonene i ozonkonsentrasjonen både regionalt og vertikalt som gjør det vanskelig å beregne det globale strålingspådrivet for denne gassen. Dette strålingspådrivet er spesielt følsomt overfor variasjoner omkring tropopausen, og i dette området er det mangelfullt med måleresultater.

20) NO_x er en ozonforløper som bidrar til produksjon av troposfærisk ozon. NO_x-utslipp øker derfor mengden av troposfærisk ozon. Samtidig øker disse utslippene konsentrasjonen av OH ved reaksjonen $NO + HO_2 \rightarrow NO_2 + OH$. Da OH bryter ned metan, medfører dette reduserte metankonsentrasjoner. Endringene i konsentrasjonene til disse to drivhusgassene virker til å øke og redusere den forsterkede drivhuseffekten. Er NO_x-utslippene nær tropopausen, produseres troposfærisk ozon i et kaldt område, og gassen har stor oppvarmingseffekt. I dette tilfellet dominerer denne oppvarmingseffekten over avkjølingseffekten fra mindre metanmengder. For NO_x-utslipp nær tropopausen bidrar dette derfor til å øke den forsterkede drivhuseffekten.
Er NO_x-utslippene fra kilder nær bakken, vil oppvarmingseffekten fra troposfærisk ozon være mye mindre. Mye tyder på at de to motsatte effekten da er av samme størrelse, men modellene er fremdeles ikke gode nok til å bestemme fortegnet på nettoeffekten av slike utslipp.

21) Seks ulike typer av aerosoler består av: ammoniumsulfat, ammoniumnitrat, fossilt organisk karbon, fossilt svart karbon, mineralstøv og bakterier.

22) Aerosolene virker direkte inn på jordas strålingsbalanse ved spredning og absorpsjon av kortbølget stråling. Med ammoniumsulfat i aerosolene virker de bare spredende på solstrålingen. Noe av strålingen blir sendt tilbake til verdensrommet, og jordoverflaten mottar mindre solstråling. Dette virker derfor avkjølende på jordoverflaten.

Den indirekte aerosoleffekten består av den første og andre indirekte effekten. Aerosoler av ammoniumsulfat viker som kondensasjonskjerner for vanndamp. Økende mengder av disse aerosolene fører til flere og mindre skydråper, noe som gir skydråpene et større samlet overflateareal. Et større overflateareal øker den reflekterte solstrålingen tilbake til verdensrommet, og mindre stråling treffer jordoverflaten. Dette er den første indirekte effekten, og den virker avkjølende. Den andre indirekte effekten har sammenheng med mindre effektiv nedbørsdannelse. Med mindre skydråper tar det lengre tid å danne regndråper, og dette forlenger levetiden til skyene. Denne effekten blir behandlet som en tilbakekopling i klimamodellene.

23) Grunnen til at reduksjon i brenning av kull uten SO_2-rensing på kort sikt gir oppvarming er den store forskjellen på justeringstiden for CO_2 og levetiden for SO_2 og sulfataerosoler. Reduseres denne typen brenning, vil det ganske raskt skje en utflating og deretter en reduksjon i konsentrasjonen av sulfataerosoler. Samtidig med dette reduseres den avkjølende effekten av aerosolene. Reduksjonen i brenning av kull vil føre til redusert vekst i CO_2-konsentrasjonen, men den vil øke i lang tid framover og medføre oppvarming. På kort sikt vil derfor reduksjon av slik brenning virke oppvarmende.

Svar på oppgaver fra kapittel 9

1) Når det gjelder temperaturøkningen og økningen i havnivå, er dette i forhold til gjennomsnittsverdier for disse størrelsene i perioden 1980-1990 og fram til tidsrommet 2090-2099.
   1 En økning i den globale middeltemperaturen ved jordoverflaten på 1,1-6,4 ^{o}C.
   2 En gjennomsnittlig økning i globalt havnivå på 0,19-0,58 m.
   3 Gjennomsnittlig større oppvarming på høye enn lave breddegrader.
   4 Havvannet blir surere.

2) Kommende global havnivåøkning vil skyldes termisk utvidelse av havvannet og smelting av innlandsis og isbreer på land. Is som flyter og smelter bidrar ikke til havnivåøkning. Skulle all isen på Nordpolen smelte, vil dette altså ikke endre havnivået. Nyere forskning tyder nå på at issmeltingen både på Grønland og Antarktis vil gi bidrag til havnivåøkning.

3) Tre resultater av klimaforskningen:
   1 I løpet av 1906-2005 har den globale gjennomsnittstemperaturen økt med 0,74 ^{o}C. I den siste 50-årsperioden på NH er det meget sannsynlig at gjennomsnittstemperaturen var høyere enn noen tilsvarende periode de siste 500 årene.
   2 I løpet av samme periode har det globalt vært en gjennomsnittlig havnivåøkning på 17 cm.
   3 Det geografiske mønsteret i de observerte temperaturforandringene samsvarer godt med resultatene av modellberegninger.

4) Det er de fattige landene som vil bli mest skadelidende av klimaendringene. De har lite ressurser til å tilpasse seg klimaendringene, og de har liten innflytelse i internasjonale forhandlinger.

5) Virkemidler er de rammevilkårene som styresmaktene setter for å påvirke forskjellige tiltak i samfunnet.
   Fem virkemidler:
   1 Administrative virkemidler
   2 Økonomiske virkemidler
   3 Samfunnsplanlegging
   4 Forskning og utvikling
   5 Informasjon

6) Et virkemiddel er kostnadseffektivt i miljøsammenheng dersom det fører til at miljømålene blir nådd til lavest mulig samfunnsøkonomiske kostnader.
   Fire krav til kostnadseffektive løsninger:
   1 Kostnadseffektive på tvers av klimagassene som er med i Kyoto-avtalen
   2 Kostnadseffektive på tvers av land
   3 Kostnadseffektive på tvers av sektorer

4 Riktig rekkefølge. Gassen som har andre skadelige miljøeffekter, skal tas først dersom reduksjon av to gasser har samme kostnad og klimaeffekt.

7) Seks tiltak mot den forsterkede drivhuseffekten:
1 Redusere bruken av kull, olje og gass så lenge det ikke er innført CO_2-håndtering
2 Innføre CO_2-håndtering
3 Utvikle ny miljøteknologi
4 Effektivisere bruken av energien
5 Overgang til fornybare energikilder
6 Stabilisere folketallet på jorda

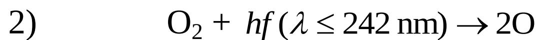
8) CO_2, CH_4, N_2O, HFK, PFK og SF_6 er de seks gassene som er med i Kyoto-protokollen. For perioden 2008-2012 skal utslippsreduksjonen i industrilandene samlet være på i gjennomsnitt 5,2 % i forhold til 1990. En klimakvote er en fritt omsettelig tillatelse til utslipp av ett tonn CO_2-ekvivalenter.

9) De tre fleksible gjennomføringsmekanismene i Kyoto-protokollen:
1. Internasjonal kvotehandel. Ved denne mekanismen kan det handles med klimakvoter på et internasjonalt kvotemarked. Dette baseres på at løsningene skal være kostnadseffektive. I-landene som har ratifisert Kyoto-avtalen og bedrifter i disse landene, kan handle med slike kvoter.
2. Felles gjennomføring. Denne mekanismen gjelder bare for land som har ratifisert Kyoto-avtalen. To av disse landene kan gå sammen om å redusere utslippene i det landet der dette er billigst. Det andre landet får godskrevet sitt bidrag til reduksjonen som likeverdig med reduksjoner innenlands. Enkeltbedrifter kan også delta i felle gjennomføringstiltak.
3. Grønn utviklingsmekanisme. Denne mekanismen tillater i-land å foreta reduksjoner av utslipp i u-land og få dette godskrevet som utslippskutt i eget land. Prosjektene må kunne overvåkes på en tilfredsstillende måte, og utslippsreduksjonene må verifiseres av en tredjepart.

10) Ved å ta det meste av utslippsreduksjonene utenlands blir det ikke nok stimulans til å utvikle metoder for reduksjon av drivhusgassutslipp innenlands. Det gir heller ikke insitament til omstilling av samfunnet og til endring av livsstil. CDM-tiltakene fører til at i-landene tar de billigste reduksjonene i u-landene. Dette er uheldig for u-landene når de selv skal redusere sine utslipp. Innføringen av de fleksible mekanismene har ført til et stort byråkrati.

Svar på oppgaver fra kapittel 10

1) Ozonlaget ligger i stratosfæren 10-40 km over jordoverflaten med høyest ozonkonsentrasjon i en høyde på ca. 25 km. Ozonkonsentrasjonen på et sted i stratosfæren er bestemt av ozonproduksjon, transport og nedbryting.

2) 

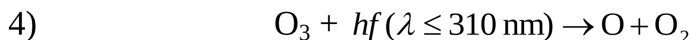
$$O_2 + \; hf\,(\lambda \leq 242\ \text{nm}) \rightarrow 2O$$



$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$

I den første reaksjonen må det være både oksygen og kraftig UV-stråling til stede for at det kan dannes O-atomer. Om lag 40 km over ekvator er det optimalt gunstig for produksjon av O-atomer, for der er det mye kraftig UV-stråling og tilstrekkelig med O_2-molekyler.
1 DU = $2{,}687 \cdot 10^{16}$ O_3-molekyler per cm^2.

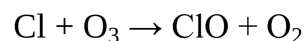
3) Over områdene ved ekvator er det oppadstigende luftstrømmer, og noen av disse trenger gjennom troposfæren og opp til stratosfæren. Disse luftstrømmene tar med seg ozon fra områdene hvor det er stor produksjon av gassen, og transporterer den mot høye breddegrader. Lufta synker her ned til områder med høyt trykk, og den komprimeres. De største konsentrasjonene av ozon finner en derfor i den nedre stratosfæren på høye breddegrader.

4) 

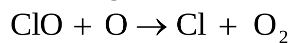
$$O_3 + \; hf\,(\lambda \leq 310\ \text{nm}) \rightarrow O + O_2$$

I denne prosessen blir strålingsenergi omformet til termisk eller kinetisk energi. Oksygenatomet som blir dannet i reaksjonen, reagerer med stor sannsynlighet raskt med et oksygenmolekyl og blir til et ozonmolekyl. Derfor er det et minimalt tap av ozon i denne prosessen.

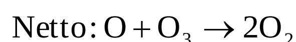
5) De viktigste stoffene som bryter ned ozon i stratosfæren er NO, Cl og Br.



$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$



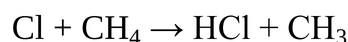
$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2$$



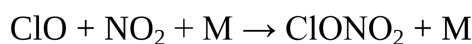
$$\text{Netto: } O + O_3 \rightarrow 2O_2$$

6) Homogene kjemiske reaksjoner er kjemiske reaksjoner mellom stoffer i samme fase. Heterogene kjemiske reaksjoner er kjemiske reaksjoner mellom stoffer i ulike faser. En reservoarkomponent er en kjemisk forbindelse som ikke direkte bryter ned ozon, men som kan omdannes til stoffer som er ozonnedbrytende.

7) Saltsyre (HCl), klornitrat ($ClONO_2$) og salpetersyre (HNO_3) er tre reservoarkomponenter.



$$Cl + CH_4 \rightarrow HCl + CH_3$$

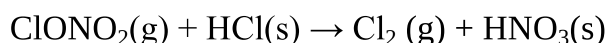


$$ClO + NO_2 + M \rightarrow ClONO_2 + M$$



$$NO_2 + OH + M \rightarrow HNO_3 + M$$

8) PSC-ene er helt avgjørende for dannelsen av ozonhullet over Antarktis. På disse PSC-ene kan det foregå heterogene kjemiske reaksjoner der reservoar-komponenter omdannes til stoffer som er forløpere for ozonnedbrytende stoffer. En viktig kjemisk reaksjon i denne sammenhengen er

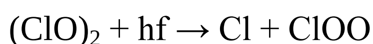


$$ClONO_2(g) + HCl(s) \rightarrow Cl_2\,(g) + HNO_3(s)$$

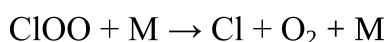
Sollys spalter klorgassen ved den fotokjemiske reaksjonen $Cl_2 + hf \rightarrow 2Cl$. Cl-atomene reagerer med ozon, og det dannes ClO. Ozonnedbrytingen forgår i den nedre delen av stratosfæren, og der er det lite med O-atomer. Derfor inngår ClO ikke i den mest vanlige katalytiske syklusen med nedbryting av ozon. ClO reagerer med NO_2, med ved så lave temperaturer har mesteparten blitt omdannet til HNO_3. Imidlertid kan klormonoksid reagere med seg selv og starte en lang katalytisk syklus. Dette er syklusen:



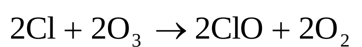
$$ClO + ClO + M \rightarrow (ClO)_2 + M$$



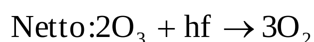
$$(ClO)_2 + hf \rightarrow Cl + ClOO$$



$$ClOO + M \rightarrow Cl + O_2 + M$$



$$\underline{2Cl + 2O_3 \rightarrow 2ClO + 2O_2}$$



$$\text{Netto}: 2O_3 + hf \rightarrow 3O_2$$

9) For at det skal kunne dannes PSC-er, må det være -78 ^{o}C eller lavere. Så lave temperaturer er det bare kortvarig i den nedre delen av stratosfæren over Nordpolen. Grunnen til dette er at jordoverflaten under den polare jetstrømmen på nordlig halvkule har store høydeforskjeller. Følgene av dette er at denne jetstrømmen er ustabil med mye utveksling av kaldluft over polen med varmere luft omkring.

10) Ved kraftige vulkanutbrudd danes aerosoler av sulfat i stratosfæren. På disse aerosolene kan det skje flere heterogene kjemiske reaksjoner, og dette kan foregå ved temperaturer som er om lag 10 ^{o}C høyere enn for dannelsen av PSC. Som følge av dette finner det sted heterogene kjemiske reaksjoner på mange aerosoler over store områder i stratosfæren. Den samlede partikkeloverflaten blir stor, og det blir en forsterket ozonnedbryting.

11) Over midlere breddegrader har ozonlaget i gjennomsnitt blitt redusert med 5 % siden 1969. I perioden 1979-2007 har det over Oslo vært en reduksjon i ozonnivå på 3,8 %. Følger alle land sine forpliktelser når det gjelder utslippsbegrensninger av ozonnedbrytende gasser, regnes det med at ozonlaget vil bygge seg opp igjen

til nivået før 1980 innen 2050. Over Antarktis vil dette trolig først skje i perioden 2060-2075.

12) 1. *Helseskader*. For høye UV-doser kan føre til hudkreft, øyesykdommer og svekking av immunforsvaret. De vanligste skadene er forbrenning og snøblindhet.
2. *Planteskader*. En hovedregel er at naturlige planter er mer utsatt for skader enn kulturplanter. Likevel viser studier at noen naturlige planter får økt vekst av økte UV-doser. Formen til noen planter kan forandre seg, og dette kan føre til nye konkurranseforhold mellom artene. I vann er det særlig fytoplankton som kan skades av mer UV-stråling.
3. *Dyreskader.* Synsskader og snøblindhet kan bli mer hyppig for høyfjellsarter og arter i arktiske områder. I perioder med fjær- eller hårskifte kan noen arter være sårbare for økt UV-stråling med høyere risiko for hudkreft. Torskelarver er spesielt følsomme for UV-stråling.
4. *Materialskader*. Plastmaterialer og maling utendørs skades av mye UV-stråling.

Svar på oppgaver fra kapittel 12

1) Energien i eller til en gjenstand er lik det arbeidet gjenstanden kan utføre på omgivelsene. Kinetisk energi og potensiell energi er de to hovedformene for energi. Kjemisk energi og indre energi er to energityper.

2) Arbeid og varme er de to formene for energioverføring. Varme er energi som blir overført fra et sted til et annet på grunn av temperaturforskjell. Varme kan skje ved varmeledning, konveksjon eller stråling.

3) Et lukket system er et system som ikke utveksler energi med omgivelsene. Effekt er tilført energi dividert på den tiden energien blir tilført. Energikvalitet er et mål for hvor tilgjengelig og nyttig energien er.

4) Energi kan ikke bli skapt av ingen ting, og energi kan heller ikke bli borte. Ifølge første energilov er det ikke korrekt å si at vi har mangel på energi. Energien forsvinner ikke, og den går bare over i andre former med lavere energikvalitet. Det som det er mangel på, er energi med høy energikvalitet.

5) To formuleringer av 2. energilov:
   1. I alle prosesser blir den samlede energikvaliteten mindre.
   2. Prosesser i naturen kan bare gå i en retning når de går av seg selv.

   Vi bør ikke bruke elektrisk strøm gjennom panelovner til oppvarming da dette er sløsing av energi med høy energikvalitet. Verden har mangel på energi med høy energikvalitet, og den elektriske energien bør brukes til andre formål enn slik oppvarming. Mye av oppvarmingen kan skje med bioenergi som har lavere energikvalitet enn elektrisk energi.

6) Eksergi er den delen av energien som kan omdannes. Anergi er den delen av energien som ikke kan omdannes. Har en gjenstand samme temperatur som omgivelsene, er den indre energien i gjenstanden anergi. Virkningsgrad er nyttig energi dividert på tilført energi.

7) En varmekraftmaskin er en maskin som alltid arbeider mellom to forskjellige temperaturer. Et varmekraftverk er en type varmekraftmaskin som omformer ulike typer energi til elektrisk energi. Et kombikraftverk består av en kombinasjon av en gassturbin og en dampturbin.

8) En naturressurs er en naturforekomst som mennesket kan dra nytte av. En energiressurs er en naturressurs som vi kan utvinne energi fra. Primærenergi er energi som finnes i energiressursene, slik de eksisterer i naturen. En energibærer er energi eller stoffer med energi i en form som egner seg til distribusjon og bruk. Energien i kull og trevirke er to eksempler på primærenergier. To eksempler på energibærere er elektrisk strøm og hydrogen.

9) En energikilde er en energiressurs som kan nyttes direkte eller ved at ressursen omdannes til en energibærer. Fossile brensler er biologisk materiale som gjennom millioner av år er blitt til kull, olje og gass. Biomasse er alt organisk stoff unntatt fossile brensler. Bioenergi er energi som frigjøres ved omforming av biomasse.

10) Fornybar energi er energi som naturen til stadighet tilfører energikilder i så store mengder at energiuttak er mulig uten at det overstiger energitilførselen. Primær energibruk er bruk av primærenergi. Brennverdien til et brennstoff er den energimengden som blir frigjort ved fullstendig forbrenning av en masseenhet av den absolutt tørre delen av stoffet. En skiller mellom tre typer brennverdier avhengig av hvordan frigjort vanndamp tas med i beregningene. Solenergi og vindenergi er to eksempler på fornybar energi.

11) Den globale primære energibruken var i 2004 på om lag 464 EJ. Den globale energibruken i 2005 fordelte seg slik:

Olje	35 %
Kull	25 %
Gass	21 %
Bioenergi	9 %
Kjernekraft	7 %
Vannkraft	2 %
Annen fornybar energi	1 %

12) Bidragene til den globale elektrisitetsproduksjonen fra ulike primærenergier i 2004:

Kull	40 %
Naturgass	20 %
Kjernekraft	16 %
Vannkraft	16 %
Olje	7 %
Annen fornybar energi	2 %

13) Reservene er de ressursene som kan utvinnes lønnsomt med dagens priser og teknologi. R / P-raten er forholdet mellom reserver og årlig produksjon. Ved starten av 2007 var R / P-raten for olje, gass og kull henholdsvis 41, 63 og 147 år.

14) De fossile stoffene er rester etter planter og dyr som levde for flere millioner år siden. Disse restene ble etter hvert dekket med tykke lag av ulike bergarter. Under disse anaerobe forholdene med høy temperatur og høyt trykk ble restene omdannet til fossile stoffer.
Mens plantene levde var de nettoopptakere av CO_2. Opptaket av CO_2 ved fotosyntesen var større enn avgivelsen av CO_2 ved ånding. Så lenge dyrene var i live, bidrog de til å lagre karbon i kroppen, og dette hadde opprinnelig kommet fra CO_2 i atmosfæren. Under omdannelsen av plante- og dyrerestene ble det ikke sluppet ut noe CO_2, og derfor var dannelsen av fossile stoffer et sluk for denne gassen.

15) Fordelingen av innenlands energibruk i Norge i 2006:

Elektrisitet	45 %
Olje til transport	27 %
Gass	12 %
Andre energivarer	6 %
Olje utenom transport	5 %
Bioenergi	5 %

16) ENØK er effektivisering av energibruken på en slik måte at dette er billigere enn å ta i bruk nye energikilder. Ved produksjon av elektrisk energi i kullkraftverk i dag er virkningsgraden ca. 30 %, men på lengre sikt kan den komme opp i 60 %.

Svar på oppgaver fra kapittel 13

1) Fotosyntesen har reaksjonslikningen



$$6CO_2 + 6H_2O + \text{lysenergi} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Biomassetilveksten eller bruttotilveksten er massen eller volumet av nytt plantemateriale produsert med glukosen fra fotosyntesen som energikilde. Tilveksten beregnes oftest over et år. Litt over 2 % av verdens biomassetilvekst går til energiformål.

2) De fire prosessene fotosyntese, ånding, råtning og forbrenning er sentrale i forbindelse med CO_2-balansen i atmosfæren. Mens trærne er i live, er de nettoopptakere av CO_2. Ved fotosyntesen tas det opp mer CO_2 enn det avgis ved ånding, og det er en nettoavgivelse av O_2. Under råtningen avgis det tilnærmet like mye CO_2 som nettoopptaket når trærne var i live. Tilsvarende ble det avgitt like mye O_2 fra de levende trærne som det blir forbrukt under råtningen av dem. Det blir avgitt like mye CO_2 og tatt opp like mye O_2 ved forbrenning som ved råtning. Forskjellen er at CO_2-utslippene kommer litt tidligere ved forbrenning enn ved råtning, men dette har liten betydning for CO_2-balansen. En skog med konstant karboninnhold er derfor CO_2- og O_2-nøytral.

3) Ved avskoging blir det en reduksjon av den levende skogen. Sammenliknet med før avskogingen er det en nedgang både i karbonmengden og netto CO_2-opptak i den gjenværende skogen. CO_2-mengden som blir avgitt ved brenning av trærne, kan derfor den skogen som er igjen ikke ta opp. Avskoging fører derfor til et nettoutslipp av CO_2 og en økning av denne gassen i atmosfæren.

4) Bioenergien i biomasse kan frigjøres ved forbrenning, gjæring eller andre kjemiske prosesser. Ved kompostering av husdyrgjødsel uten oksygentilgang dannes det metan og kompost med høy kvalitet. Metan og kompost kan henholdsvis brukes som energikilde for produksjon av elektrisk energi og gjødsel. Deponigass er gass som dannes når de organiske delene i avfallsfyllinger blir brutt ned uten oksygentilgang.

5) Vedfyring har to fordeler. Ved er en fornybar ressurs, og vedfyring er CO_2-nøytral.
Ulemper vedfyring kan ha:
1. *Utslipp av svevestøv*. Svevestøvet kan skape helseproblemer, estetiske problemer og luktproblemer.
2. *Utslipp av gasser*. Ved liten oksygentilgang og rå ved kan det dannes CO og VOC. PAH festet til svevestøv kan komme inn i kroppen gjennom luftveiene.
3. *Utslipp av dioksiner*. Disse gassene dannes ved at klor i veden reagerer med karbon og oksygen. De lave konsentrasjonene av dioksiner er uten helsemessig betydning.

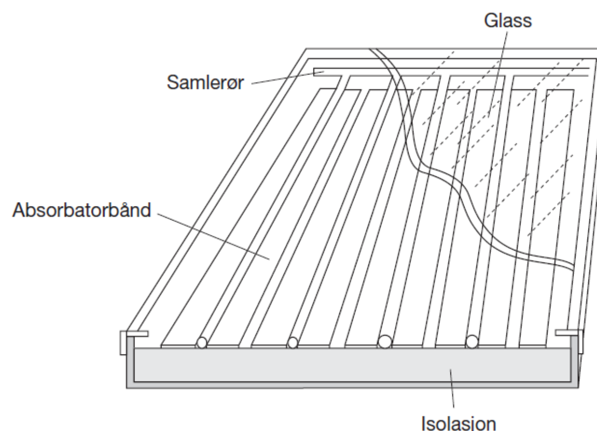
4. *Utslipp av tungmetaller*. Kadmium og arsen avgis ved vedfyring.
5. *Transport*. Viktig at veden hentes fra nærområdet.
6. *Næringsstoffer tas ut av skogen*. Skogen tappes for en del næringsstoffer når trevirke tas ut av skogen.
7. *Tap av biologisk mangfold.* Dette kan reduseres ved å la en del trevirke råtne i skogen.

6) Briketter er sammenpressede kubber eller sylindere med en diameter på 25-70 mm. Pellets består av sammenpresset, finmalt flis med diameter på 6, 8 eller 12 mm, og med lengde mindre enn 25 mm.
Sammenliknet med ved har pellets mye høyere brennverdi per volum, og den trenger derfor ikke så stor lagerplass. Fuktigheten er så lav som 8-12 %. Pellets kan brukes på brennere av alle størrelser. Biobrenslet kan fraktes automatisk på bånd til ildstedet. Brenning av pellets gir røykgasser med spesielt lite skadelige gasser og partikler.

7) I et solkraftverk blir solenergi først omdannet til indre energi, og deretter blir deler av denne omformet til elektrisk energi. Det har etter hvert blitt utviklet flere typer solkraftverk, og den viktigste forskjellen mellom disse er utformingen av speilene som samler sollyset. De vanligste speilene er trauformet, og speilflaten er en del av en sylinder. Sollyset reflekteres fra speilene mot et spesialbehandlet stålrør plassert i speilenes fokus. I dette røret er det olje, og det ligger i vakuum inne i et glassrør. Speilene kan dreies slik at de mottar maksimalt med sollys etter hvert som sola beveger seg over himmelen. Solenergien varmer opp den sirkulerende oljen til ca. 400 ^{o}C, og via varmevekslere varmes det opp vann slik at det dannes damp med høyt trykk. Dampstrålen driver en turbin, og denne overfører rotasjonen til en generator som produserer elektrisk energi.

8) I en solcelle blir noe av solenergien direkte omformet til elektrisk energi. Silisium er det halvledermaterialet som de fleste solceller består av. Solcellepaneler består av serie- og parallellkoplede solceller. Virkningsgraden til en solcelle er forholdet mellom produsert elektrisk energi og energien i den solstrålingen som treffer solcellen.

9) Solenergi blir omformet til indre energi i en solfanger. Sentralt i en solfanger er



absorbatoren. Denne overfører den absorberte solstrålingen til indre energi. Gjennom absorbatoren går det rør med et varmemedium som via samlerør frakter mesteparten av den indre energien bort til brukersted. Solfangeren kan ha en utførelse slik som i skissen over. Absorbatoren er montert i en kasse med isolasjon på baksiden og langs kantene. Isolasjonen kan være plastskum eller mineralull. På framsiden er det et dekklag av glass eller plast. Dette er montert fleksibelt slik at det ikke oppstår spenninger ved temperaturendringer. Det er ønskelig at dekklaget sender gjennom mest mulig av solstrålingen. Denne egenskapen økes ved å tilsette glass Fe_2O_3. Det er gunstig at absorbatoren sender ut lite varmestråling, og derfor er den utstyrt med selektive optiske egenskaper. Et belegg med Cr_2O_3 gir absorbatoren disse egenskapene.

Det meste av solstrålingen går gjennom dekklaget og blir absorbert av absorbatoren. Den sender ut litt langbølget stråling som dekklaget tar opp mesteparten av. Dette sender igjen en del stråling tilbake til absorbatoren som absorberer mye av denne strålingen.

10) Virkningsgraden til en solfanger er nyttbar varme tilført varmemediet dividert på strålingsenergien som treffer den samlede solfangerflaten. Solfangeren har høyest virkningsgrad ved lave temperaturer. Ved slike temperaturer er det lite varmetap fra solfangeren, og dette oppnås når varmemediet har lav temperatur. Det er derfor gunstig å forvarme kaldt vann med solvarmeanlegg og toppvarme med bioenergi.

11) Miljøvirkningene ved bruk av solenergi:
1. *Arealkrav.* Solfangere og solcellepanel kan plasseres på tak, og det er gunstig med solkraftverk i ørkener.
2. *Estetiske problemer.* Solcellepaneler og solfangere kan skille seg ut fra resten av takflaten eller husveggen.
3. *Legionellabakterier.* Det kan være gunstige forhold for legionellabakterier i solvarmeanlegg.

12) I et vindkraftverk blir vindenergi eller kinetisk energi omformet til elektrisk energi. Det sveipede arealet til en vindturbin er arealet til den flaten som turbinbladene sveiper over i løpet av et omløp. Virkningsgraden til en vindturbin er produsert elektrisk energi dividert på mottatt vindenergi på det sveipede arealet. Den maksimale virkningsgraden til en vindturbin er 59 %. Har vinden farten v vinkelrett på flaten med areal A og lufta massetettheten d, er vindeffekten $P = \frac{1}{2} dAv^3$.

13) Landbaserte vindkraftverk har følgende miljøvirkninger:
1. *Arealkrav*. Det samlede arealet i en vindpark har en normal utnyttelse på 10-20 MW / km^2.
2. *Fuglekollisjoner*. Fugler kan kollidere med tårn eller turbinblader.

3. *Støy og skyggekast.* Vindkraftverkene avgir litt støy innenfor en avstand på 500-600 m. Turbinbladene kan kaste en bevegelig skygge mot personer som ser mot vindturbinen og sola.
4. *Estetiske problemer.* Vindkraftverkene er synlige på lang avstand når de står åpent for vind fra alle kanter.
5. *Ulykker.* Turbinblader eller bladdeler kan løsne og slynges vekk. Hele tårn har falt i bakken.
6. *Veier og kraftlinjer.* Frakting av delene i et vindkraftverk, reparasjoner og vedlikehold krever veier. Det er også aktuelt med kraftlinjer for å transportere ut overskuddskraft fra området.

14) I et bølgekraftverk blir det produsert elektrisk energi av bølgeenergi. Bølgeenergien består både av potensiell og kinetisk energi.

1. *Svingende vannsøyle.* I denne innretningen svinger vann opp og ned i et lukket kammer i takt med bølgebevegelsen. Dette skaper luftstrøm som kan drive en luftturbin.
2. *Svingende bøye.* En bøye svinger i takt med bølgebevegelsen mens stempelet i bøyen er festet til havbunnen. Den relative bevegelsen mellom bøye og stempel brukes til å føre olje under høyt trykk mot en turbin.
3. *Fokuseringskraftverk.* Vannet i bølgene blir fokusert og løftet opp i et høydebasseng. Den potensielle energien til vannet blir deretter overført til kinetisk energi og elektrisk energi. Dette foregår ved at vannet føres i et rør ned til et vannkraftverk.
4. *Hybridanlegg.* Denne anleggstypen kombinerer både noe fra svingende bøye og fokuseringskraftverk. Den svingende bøyen sammen med en pumpe brukes til å transportere vann opp i et høydebasseng.

15) Miljøvirkninger av svingende vannsøyle og fokuseringskraftverk:
1. *Arealkrav*. Bølgekraftverkene vil legge beslag på store arealer.
2. *Begrensede fiskemuligheter*. Særling fokuseringskraftverk vil begrense fiskemuligheten i et stort område rundt anlegget.
3. *Endrede forhold i strandsonen.* Et fokuseringskraftverk kan påvirke dyreplankton, fiskeegg og larver.
4. *Giftvirkninger.* For å hindre begroing må trolig deler av installasjonene behandles med giftige preparater.

16) I et vannkraftverk blir først potensiell energi overført til kinetisk energi, og deretter blir den kinetiske energien omformet til elektrisk energi. De fleste vannkraftverkene har vannmagasin. Fordelen med vannmagasiner er å kunne samle opp vann i nedbørsrike perioder eller tider med lite bruk av elektrisk energi. Dette vannet kan brukes senere når det er stor avsetning på elektrisk energi eller det er lite nedbør. Med vannmagasin kan produksjonen av elektrisk energi variere mye over kort tid.

17) Miljøvirkninger ved produksjon av elektrisk energi i vannkraftverk:
1. *Arealkrav*. Flere steder i verden legger vannkraftverk beslag på store arealer. Særlig vannmagasinene er meget arealkrevende.
2. *Naturinngrep.* Naturinngrepene kan være store dammer, ødelagte strandsoner, tørrlagte elver, steintipper, anleggsveier, kraftledninger osv.
3. *Lavere grunnvannsnivå.* Mellom vannmagasinene og generatorene kan grunnvannsnivået bli lavere etter utbygging. Dette medfører større behov for vanning i jordbruket i disse områdene.
4. *Mer frostrøyk.* Med høyere vanntemperatur og ofte større vannføring etter utbyggingen blir det oftere frostrøyk nedenfor vannkraftverket.
5. *Mer algevekst.* Reduserte vårflommer gir bedre forhold for algevekst.
6. *Nedslamming.* På lave breddegrader kan vannmagasinene fylles med slam i løpet av noen tiår.
7. *Utslipp av metan.* I varme områder og dammer med slake skråninger kan det produseres betydelige mengder med metan. I perioder med lav vannstand kan skråningene bli gjengrodd av vegetasjon, og når disse settes under vann, dannes det metan.

18) Små vannkraftverk er anlegg med installert effekt under 10 MW. En skiller mellom tre typer av slike anlegg, og disse er mikro-, mini- og småkraftverk. Et mikrokraft har installert effekt under 100 kW, et minikraftverk mellom 100 og 1000 kW og småkraftverk mellom 1 og 10 MW.

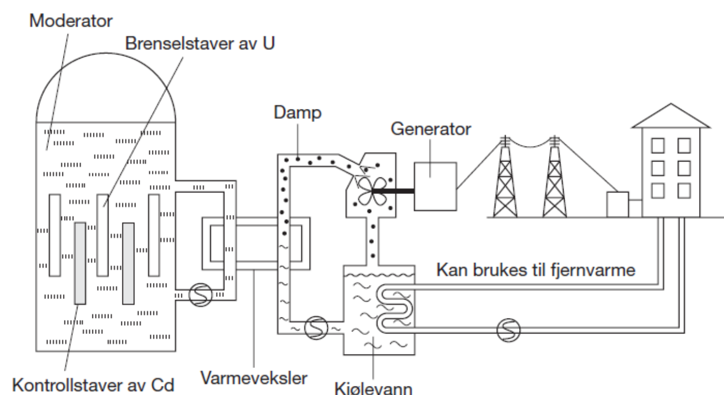
Svar på oppgaver fra kapittel 14

1) Fusjon er oppbygging av to mindre atomkjerner til en større atomkjerne. Fisjon er spalting av en stor atomkjerne til to mindre atomkjerner. Massesvinnet Δm er differensen mellom summen av massene til partiklene før og etter en kjernereaksjon. Innholdet i Einsteins likning er at frigjort energi E er lik massesvinnet multiplisert med lyshastigheten c i andre potens. $E = \Delta m c^2$.

2) Det er en stor utfordring ved utvikling av fusjonskraftverk å få plasmaet med temperaturer opp i flere millioner grader samtidig som partikkeltettheten holdes over en viss verdi. Skal fusjonskraftverket være en nettoprodusent av energi, må det avgis mer energi enn det tilføres. Den tilførte energien er strålingsenergi for å starte kjernereaksjonene. Det er også en stor utfordring å få plasmaet stabilt nok over lang tid.

3) I termiske reaktorer brukes U-235 som spaltes med langsomme nøytroner. Brenselstavene i hurtige reaktorer inneholder både Pu-239 og U-238. Hurtige nøytroner spalter Pu-239, og de starter kjedereaksjoner med U-238. Flere transuraner kan dannes, og et av disse er Pu-239.

4) Figuren under viser en skjematisk skisse av et termisk kjerneenergiverk.



Hovedbestanddelene i et termisk kjerneenergiverk er brenselstaver, moderator, kontrollstaver og kjølemiddel. Brenselstavene består av radioaktivt urandioksid. Ved spaltingen av U-235 dannes det raske nøytroner. Nøytroner med stor fart spalter ikke U-235, og derfor må farten til disse reduseres av en moderator. Moderatoren kan bestå av atomkjerner med liten masse som karbon, beryllium, vanlig hydrogen eller deuterium. Ved sammenstøt mellom raske nøytroner og lette atomkjerner i moderatoren avgis bevegelsesenergi frå nøytronene til partiklene i moderatoren. Kontrollstavene består av nøytronabsorberende materiale og brukes til å styre energiproduksjonen. Den termiske energien i moderatoren blir via en varmeveksler brukt til å overføre vann til damp med høy temperatur og høyt trykk. Dampen driver en turbin, og denne er koplet til en

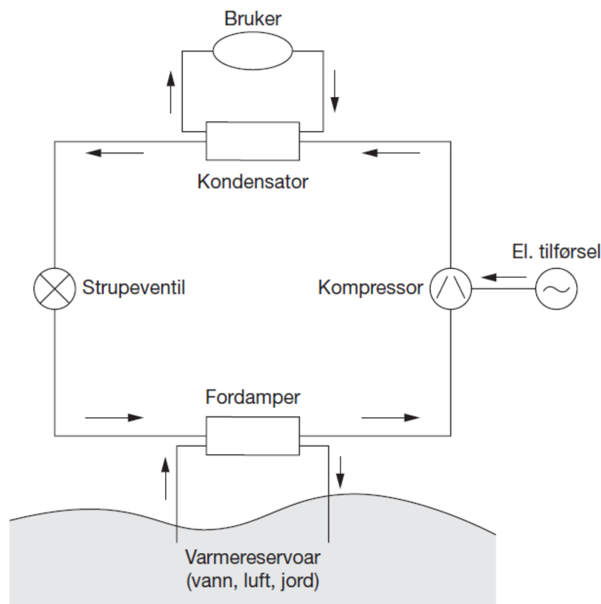
generator som produserer elektrisk energi. Etter at dampen har passert turbinen, blir den kondensert til vann av et kjølemiddel som er vann.

5) Det dannes tre typer radioaktivt avfall i et fisjonskraftverk.
1. *Aktiveringsprodukter.* Dette er stoffer som har tatt opp nøytroner og blitt radioaktive. Co-60 er et aktiveringsprodukt som dannes når Co-59 fanger inn et nøytron.
2. *Spaltingsprodukter eller fisjonsprodukter.* Dette er radioaktive, mellomtunge atomkjerner som oppstår ved fisjon av U-235. Slike stoffer er blant annet Cs-134, Cs-137, I-131 og Sr-90.
3. *Transuraner.* Dette er atomkjerner med høyere atomnummer enn uran. Plutonium er det viktigste transuranet.

6) Det er følgende miljøvirkninger ved bruk av kjerneenergi:
1. *Produksjon av radioaktive stoffer og strålefare.* Den verste ulykken var i Tsjernobyl i 1986.
2. *Termisk forurensning.* Utslippsområdet for kjølevannet fra kjernekraftverkene får høyere temperatur enn naturlig. Dette kan ha uheldige virkninger for det lokale økosystemet.
3. *Råstoffer til kjernevåpen.* Det kan lages kjernevåpen av plutonium fra høyanriket og resirkulert brensel.
4. *Terroraksjoner.* Det er en risiko for bombing og sabotasje av kjerneenergiverkene.
5. *Forurensning fra gruvedrift.* All gruvedrift er forurensende, og denne type gruvedrift legger beslag på store områder.
6. *Problemer med nedlagte kjernekraftverk.* Det er et kostbart og tidkrevende arbeid å demontere slike anlegg.
7. *Lekkasje etter jordskjelv.* I Japan i 2007 førte et kraftig jordskjelv til lekkasje av radioaktive stoffer.

Svar på oppgaver fra kapittel 15

1) Figuren under viser en skisse av ei varmepumpe. De viktigste komponentene i ei varmepumpe er et sirkulerende medium, en fordamper, en kompressor, en



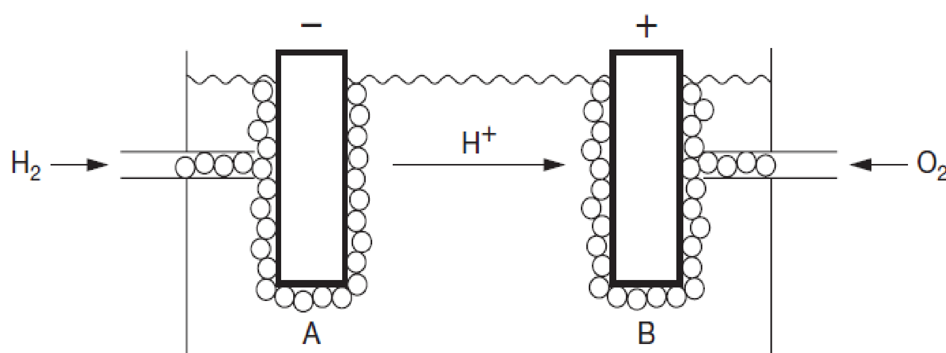
kondensator og en strupeventil. I fordamperen går det sirkulerende mediet over fra væske til gass. Dette krever energi, og varmepumpa tar energien fra et varmereservoar. Kompressoren trekker til seg gassen og komprimerer den, og dette gjør at temperaturen og trykket i gassen øker. I kondensatoren går gassen over til væske, og i denne prosessen avgis det kondensasjonsvarme til en bruker. Vider passerer væsken en strupeventil, og trykket synker. Med tilstrekkelig lavt trykk fordamper væsken, og temperaturen faller. Væsken i kondensatoren må ha en del lavere temperatur enn varmereservoaret for at varmen kan overføres effektivt til det sirkulerende mediet.

2) Virkningsgraden til ei varmepumpe er avgitt varme fra kondensatoren dividert på tilført energi til kompressoren. Årsvirkningsgraden er den gjennomsnittlige virkningsgraden gjennom hele året. I 2008 er årsvirkningsgraden ca. 3, men det gjøres stadig teknologiske framskritt, og den vil øke i de nærmeste årene.

3) Den billigste hovedtypen er en luft-luft-varmepumpe. Varmepumpa tar den indre energien fra utelufta og avgir energien til innelufta. Denne varmepumpa har lavest virkningsgrad. Den mest effektive er væske-vann-varmepumpa. En frostsikker væske henter energien fra jord eller vann, og energien blir fordelt med et vannbårent system. Den tredje hovedtypen er luft-vann-varmepumpa. Energien hentes fra utelufta og fordeles også her med et vannbårent system. Foruten at de to siste hovedtypene har høy virkningsgrad er det også fordelaktig at de kan brukes til å varme opp tappevann.

4) En brenselcelle består av to kamre som er atskilt med en membran. Det ene kammeret blir tilført brensel og det andre luft. Hydrogen er det mest brukte brenselet. Membranen skiller brensel og luft. Anoden og katoden vender henholdsvis mot brenselet og lufta. Den midtre delen er en elektrolytt. Elektroder er et fellesnavn for anode og katode. Hver elektrode inneholder en katalysator som øker reaksjonsfarten til ønskede kjemiske reaksjoner.

5) Prosessene i en brenselcelle går motsatt vei av det de gjør ved vannspalting i et elektrolysekar. Ved elektrode A i figuren under spaltes hydrogenmolekylene i hydrogenioner og elektroner. Elektronene blir igjen på elektroden som blir negativ, og hydrogenionene passerer gjennom elektrolytten til elektrode B.



Mot elektrode B sendes det oksygen, og det dannes vann ved reaksjon mellom denne gassen, hydrogenionene og elektroner fra elektroden. Elektrode B mister elektroner og blir derfor positiv. De elektriske kreftene virker mot bevegelsen til de positive hydrogenionene fra A mot B. Denne ionetransporten går senere etter hvert som brenselcellen lades opp, og den stopper når brenselcellen er fulladet.

Følgende reaksjoner skjer ved elektrodene:
Ved elektrode A som er negativ: $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$
Ved elektrode B som er positiv: $4H^+ + O_2 + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
Nettoreaksjon: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

6) *Fosforsyrecellen* har membran av fosforsyre med konsentrasjoner fra 95 % til 100 %. Cellene kan bruke urent hydrogen som brensel, og driftstemperaturen ligger på ca. 200 ^oC.

Flytende karbonatceller har flytende karbonat som membran. De kjøres med renset naturgass ved en temperatur på omkring 650 ^oC, og den elektriske virkningsgraden er på 47 %. Den indre energien med høy temperatur kan brukes til å drive en gassturbin tilkoplet en generator, og den totale virkningsgraden kan komme opp i 80 %.

Fastoksidceller har membraner som består av tynne lag av oksider. De kan drives av naturgass eller biogass, og driftstemperaturen er på 650-950 ^{o}C. Brenselcellen har en elektrisk virkningsgrad på ca. 47 %, men ved å utnytte den indre energien kan den komme over 70 %.

Sulfonerte polymerceller har membraner av et plastliknende stoff, sulfonert teflon. Membranene leder H^+-ioner, og brenselcellene må ha hydrogen som drivstoff. Driftstemperaturen er på 60-90 ^{o}C, og den elektriske virkningsgraden er på 35-45 %. Disse brenselcellene har høy energitetthet, og de er derfor aktuelle i transportsektoren.